



**UNIVERSIDAD ESTATAL
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Propuesta Tecnológica, previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO
PARA LA PREPARACIÓN DEL DESINFECTANTE EN LOS BOTELLONES
DE AGUA”**

AUTOR

EDUARDO LEONEL GUALE RODRÍGUEZ

PROFESOR TUTOR

ING. ELSY DEL ROCÍO VILLAMAR GARCÉS MSC.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2019

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto de mi vida, por su bondad y amor infinito.

A la universidad Estatal Península de Santa Elena, por abrirme las puertas de sus aulas y a sus docentes por compartir sus conocimientos e inculcarme responsabilidad y ética profesional.

A la Ing. Elsy Villamar por su apoyo, dirección y constante guía, porque estuvo presta a inculcarme en todo momento sus valiosos conocimientos. Supo comprenderme y a la vez me ayudó en todos los inconvenientes que se suscitaron en el transcurso de esta investigación.

Eduardo Leonel Guale Rodriguez

APROBACIÓN DEL TUTOR

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutora del trabajo de titulación denominado: **“Diseño e implementación de un sistema automatizado para la preparación del desinfectante en los botellones de agua”**, elaborado por el estudiante **Guale Rodriguez Eduardo Leonel**, de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes y autorizo al estudiante para que inicie los trámites legales correspondientes.

La Libertad 8, febrero del 2019




Ing. Elsy Villamar Garcés, Msc.

TRIBUNAL DE GRADO

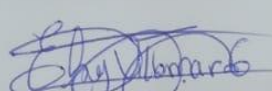
TRIBUNAL DE GRADO



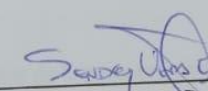
Ing. Freddy Villao Santos. Msc
DECANO DE FACULTAD



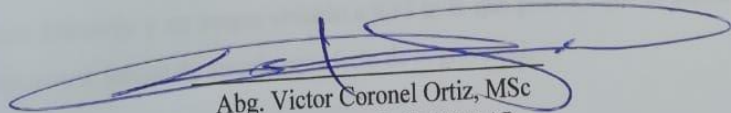
Ing. Washington Torres Guin. MSc.
DIRECTOR DE CARRERA



Ing. Elsy Villamar Garcés Msc.
PROFESOR TUTOR



Ing. Sendey Vera González, Maci
PROFESOR DE ÁREA



Abg. Victor Coronel Ortiz, MSc
SECRETARIO GENERAL

RESUMEN

La implementación de este sistema tuvo lugar en el laboratorio de automatización el sistema se encarga de la preparación del desinfectante para los botellones de agua, está conformado por tres tanques de acero inoxidable, electroválvulas, motor trifásico agitador, bomba centrífuga, variadores, sensores, pantalla HMI y un PLC para el control del sistema.

El diseño del tanque de mezcla, el de almacenamiento del dióxido de cloro y el tanque de almacenamiento del desinfectante se elaboró dependiendo a la función que cumple ajustando a las dimensiones del laboratorio de automatización. La programación de la planta se realiza en tres bloques: bloque de menú, bloque de función y el bloque Cyclic interrupt donde se realiza el control PID gracias a la optimización automática.

El desarrollo de la programación para el sistema de la preparación del desinfectante se realizó en cuatro procesos, donde el primer proceso se encarga del control de nivel, a través de la abertura y cierre de una electroválvula, un tanque con capacidad de hasta 80 litros y un sensor ultrasónico.

En el segundo proceso se realiza la dosificación del dióxido de cloro, mediante una regla de tres en el bloque de función con la abertura de una electroválvula, un sensor infrarrojo y un tanque ubicado a 0,85 m lo que provoca que el dióxido de cloro pase al tanque de mezcla por efecto de la gravedad.

El tercer proceso se encarga de la mezcla del dióxido de cloro y el agua, en un tiempo determinado controlando la frecuencia del motor trifásico por PID.

El cuarto y último proceso permite el traslado del desinfectante a un tanque de almacenamiento donde se controla la frecuencia de la bomba y el llenado del tanque de almacenamiento por control PID.

ABSTRACT

The implementation of this system took place in the automation laboratory which is responsible for the preparation of disinfectant for water bottles, this system is made up of three stainless steel tanks, electrovalves, three-phase agitator motor, centrifugal pump, variators, sensors, HMI screen and a PLC to control the system.

The design of the mixing tank, the storage of chlorine dioxide and the storage tank of the disinfectant was developed depending on the function that meets the dimensions of the automation laboratory. The programming of the plant is carried out in three blocks: menu block, function block and the Cyclic interrupt block where the PID control is carried out thanks to the automatic optimization.

The development of the programming for the system of the preparation of the disinfectant was carried out in four processes, where the first process is responsible for level control, through the opening and closing of an electrovalve, a tank with a capacity of up to 80 liters and an ultrasonic sensor.

In the second process the chlorine dioxide is dosed, by means of a rule of three in the function block with the opening of a solenoid valve, an infrared sensor and a tank located at 0.85 m, which causes the chlorine dioxide to go to the mixing tank due to gravity.

The third process is responsible for the mixture of chlorine dioxide and water, in a given time controlling the frequency of the three-phase motor by PID.

The fourth and last process allows the transfer of the disinfectant to a storage tank where the frequency of the pump and the filling of the storage tank are controlled by PID control.

DECLARACIÓN

El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena



.....
Eduardo Leonel Gual Rodríguez

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|---|-----|
| AGRADECIMIENTO | ii |
| APROBACIÓN DEL TUTOR..... | iii |
| TRIBUNAL DE GRADO | iv |
| RESUMEN..... | v |
| ABSTRACT | vi |
| DECLARACIÓN | vii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xi |
| ÍNDICE DE TABLAS | xiv |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I..... | 2 |
| 1 FUNDAMENTACIÓN | 2 |
| 1.1 ANTECEDENTES..... | 2 |
| 1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO:..... | 2 |
| 1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO..... | 3 |
| 1.3.1 OBJETIVO GENERAL | 3 |
| 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 3 |
| 1.4 JUSTIFICACIÓN..... | 3 |
| 1.5 ALCANCE | 4 |
| 1.6 METODOLOGÍA | 5 |
| 1.6.1 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA | 5 |
| 1.6.2 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL | 5 |
| 1.6.3 INVESTIGACIÓN DE CAMPO | 5 |
| CAPÍTULO II | 6 |
| 2.1 MARCO CONTEXTUAL | 6 |
| 2.2 MARCO CONCEPTUAL..... | 7 |
| 2.2.1 Comunicación industrial | 7 |
| 2.2.2 Autómata programable o PLC..... | 7 |
| 2.2.3 HMI..... | 8 |
| 2.2.4 Norma ISA S101 para el diseño HMI | 8 |
| 2.2.5 Protocolos de Comunicación..... | 9 |
| 2.2.5.1 Profinet..... | 9 |

| | |
|--|----|
| 2.2.5.2 Modbus..... | 9 |
| 2.2.5.3 Modbus TCP | 10 |
| 2.2.5.4 Modbus RTU | 10 |
| 2.2.5.5 Modbus ASCII | 10 |
| 2.2.6 Mezcla | 10 |
| 2.2.7 Tipos de control..... | 11 |
| 2.2.7.1 Control de lazo abierto | 11 |
| 2.2.7.2 Control de lazo cerrado | 12 |
| 2.2.8 PID | 12 |
| 2.2.9 Control de nivel..... | 12 |
| 2.2.10 Variador de frecuencia | 12 |
| 2.3 MARCO TEÓRICO | 13 |
| CAPÍTULO III | 15 |
| 3.1 COMPONENTES DE LA PROPUESTA..... | 15 |
| 3.1.1 COMPONENTES FÍSICOS | 15 |
| 3.1.1.1 Controlador Lógico Programable..... | 15 |
| 3.1.1.2 Módulo de comunicación | 16 |
| 3.1.1.3 Pantalla Hmi Delta Dop-B03211 | 18 |
| 3.1.1.4 Variador De Frecuencia | 19 |
| 3.1.1.5 Electroválvula De Bronce 110v | 20 |
| 3.1.1.6 Motor Trifásico 1hp Siemens..... | 21 |
| 3.1.1.7 Agitador..... | 22 |
| 3.1.1.8 Sensor ultrasónico UB800-18GM40-I-V1 | 23 |
| 3.1.1.9 Conector hembra V1-G-5M-PVC..... | 25 |
| 3.1.1.10 Sensor distancia Sharp 0A41SK F 7Y | 26 |
| 3.1.1.11 Tanque de depósito de solución del dióxido de cloro | 27 |
| 3.1.1.12 Bomba Centrifuga trifásica de 1/2 HP | 29 |
| 3.1.1.13 Sensor de nivel de Flotador magnético | 30 |
| 3.1.1.2 COMPONENTES LÓGICOS..... | 31 |
| 3.1.1.2.1 TIA PORTAL V13..... | 31 |
| 3.1.1.2.2 SOFTWARE DOPSOFT 2.00.04..... | 31 |
| CAPÍTULO IV | 32 |
| 4.1 DISEÑO DE LA PROPUESTA..... | 32 |
| 4.1.1 IMPLEMENTACION DE LA PLANTA | 32 |

| | |
|--|----|
| 4.1.2 DIAGRAMA DE FLUJO..... | 40 |
| 4.1.3. DESARROLLO DE LA PROGRAMACIÓN. | 41 |
| 4.1.4 CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA..... | 63 |
| 4.1.5 CREACIÓN DEL DISEÑO DE LOS ELEMENTOS VIRTUALES EN EL SOFTWARE DOPSOTF..... | 65 |
| 4.1.6 FACTIBILIDAD DEL PROYECTO..... | 71 |
| 4.1.6.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA..... | 71 |
| 4.1.6.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DE PRECIOS DE EQUIPOS. | 73 |
| CAPÍTULO V | 75 |
| 5.1 PRUEBAS | 75 |
| 5.1.1 Calibración del sensor ultrasónico | 75 |
| 5.1.2 Calibración del sensor infrarrojo..... | 76 |
| 5.1.3 Parámetros P.I.D del control del motor trifásico y la bomba centrífuga | 77 |
| 5.1.4 Diseño del sistema en la pantalla HMI..... | 80 |
| 5.2 RESULTADOS | 81 |
| CONCLUSIONES | 83 |
| RECOMENDACIONES | 84 |
| BIBLIOGRAFÍAS | 85 |
| ANEXOS | 86 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: PLC S7-1200 CPU 1212C] | 15 |
| Figura 2: Módulo de comunicación CM 1241 RS422/485 | 17 |
| Figura 3: Pantalla HMI DELTA | 19 |
| Figura 4: Variador de Frecuencia Modelo VFD007EL21A | 20 |
| Figura 5: Electroválvula 2W41 110 V | 21 |
| Figura 6: Motor trifásico 1HP 1IE0142 | 21 |
| Figura 7: Agitador | 23 |
| Figura 8: Sensor ultrasónico UB800-18GM40-I-V1 | 23 |
| Figura 9: Conector hembra V1-G-5M-PVC | 25 |
| Figura 10: Sensor distancia Sharp 0A41SK F 7Y | 27 |
| Figura 11: Tanque de depósito de solución del dióxido de cloro | 28 |
| Figura 12: Actividad de pH Fuente: Prominent Academy for warter technology, 2009 | 28 |
| Figura 13: Bomba centrifuga Thebe | 29 |
| Figura 14: Flotador de acero inoxidable | 30 |
| Figura 15: Software TIA Portal v13 | 31 |
| Figura 16: Software Dopsoft 2.00.04 | 31 |
| Figura 17: Tanque de mezcla | 32 |
| Figura 18: Tanque de Almacenamiento del desinfectante | 33 |
| Figura 19: Tanque de dosificación | 33 |
| Figura 20: Diseño del agitador vertical | 34 |
| Figura 21: Acople sensor ultrasónico | 34 |
| Figura 22: Divisor de voltaje | 35 |
| Figura 23: Ubicación del sensor infrarrojo | 35 |
| Figura 24: Regulador de voltaje para el sensor infrarrojo | 36 |
| Figura 25: Ubicación del sensor flotador de 15 cm | 36 |
| Figura 26: Ubicación del sensor flotador de 7 cm | 37 |
| Figura 27: Topología general de comunicación | 37 |
| Figura 28: Tablero del laboratorio de automatización recibido | 38 |
| Figura 29: Tablero actual de control del sistema | 39 |
| Figura 30: Diagrama de flujo del sistema para la preparación del desinfectante | 40 |
| Figura 31: Software TIA Portal v13 | 41 |

| | |
|--|----|
| Figura 32: Normalización de la entrada analógica del sensor ultrasónico | 42 |
| Figura 33: Escalamiento del sensor ultrasónico | 43 |
| Figura 34: Conversión de nivel a Litros. | 43 |
| Figura 35: Escalamiento del sensor infrarroja a cm | 44 |
| Figura 36: Conversión del sensor infrarrojo de cm a litros. | 44 |
| Figura 37: Cálculo para la cantidad de litros de dióxido de cloro..... | 45 |
| Figura 38: Parámetros de la instrucción MB_COMM_LOAD. | 46 |
| Figura 39: Parámetros de la instrucción MB_COMM_LOAD | 47 |
| Figura 40: Entradas del tanque de almacenamiento del desinfectante | 48 |
| Figura 41: Segmento del inicio del sistema. | 49 |
| Figura 42: Segmento de llamada del bloque FC. | 49 |
| Figura 43: Segmento del Control On/Off para el nivel del tanque de mezcla. | 50 |
| Figura 44: Direccionamiento de variable | 51 |
| Figura 45: Segmento del Proceso de Dosificación..... | 52 |
| Figura 46: Segmento del escalamiento de la variable de salida del control PID. | 53 |
| Figura 47: Variables del proceso de la Mezcla | 53 |
| Figura 48: Variable auxiliar del segmento 10. | 54 |
| Figura 49: Segmento para normalización y escalamiento de frecuencia para la bomba centrífuga..... | 54 |
| Figura 50: Segmento del control de la bomba centrífuga. | 55 |
| Figura 51: Elaboración del bloque Cyclic interrupt. | 56 |
| Figura 52: Bloque PID | 56 |
| Figura 53: llamada del bloque PID al bloque Cyclic interrupt..... | 57 |
| Figura 54: Selección del tipo de regulación para el motor trifásico..... | 58 |
| Figura 55: Parámetros de entrada/salida del PID | 59 |
| Figura 56: Ajustes del valor real | 59 |
| Figura 57: Ajustes de los valores P, I, D. | 60 |
| Figura 58: Selección del tipo de regulación para la bomba centrífuga. | 61 |
| Figura 59: Rango de trabajo del control PID de la bomba centrífuga..... | 61 |
| Figura 60: Límite máximo y mínimo del valor de salida para la frecuencia de la bomba centrífuga..... | 62 |
| Figura 61: Valores de los parámetros PID para el control de la bomba centrífuga. | 62 |
| Figura 62: Conexión para la comunicación MODBUS. | 64 |
| Figura 63: Selección del modelo de la pantalla HMI. | 65 |

| | |
|--|----|
| Figura 64: Selección del controlador en la pantalla HMI. | 66 |
| Figura 65: Configuración de los parámetros para la comunicación entre el PLC y el HMI..... | 67 |
| Figura 66: Configuración del IP para el HMI | 67 |
| Figura 67: Pantalla principal del proyecto | 68 |
| Figura 68: Interfaz del control de nivel del tanque de mezcla. | 69 |
| Figura 69: Interfaz del proceso para la dosificación del dióxido de cloro | 70 |
| Figura 70: Interfaz del proceso de la mezcla..... | 70 |
| Figura 71: Interfaz del proceso del control de la bomba centrífuga..... | 71 |
| Figura 72: Valores obtenidos de la calibración del sensor ultrasónico. | 75 |
| Figura 73: Valores obtenidos de la calibración del sensor infrarrojo..... | 77 |
| Figura 74: Valores entregados por la optimización fina. | 78 |
| Figura 75: Ajustes realizados de los valores entregado por la optimización fina .. | 78 |
| Figura 76: Control por optimización fina..... | 79 |
| Figura 77: Modificación de la optimización fina. | 79 |
| Figura 78: Interfaz de prueba para los procesos del HMI. | 80 |
| Figura 79: Identificación del sistema a través del HMI. | 82 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Datos Técnicos del PLC S7-1200: Siemens..... | 16 |
| Tabla 2: Datos Técnico del módulo CM 1241 RS422/485 | 17 |
| Tabla 3: Datos de los pines del conector RS-485: unilibre.edu.com | 18 |
| Tabla 4: Datos técnicos y eléctricos de la pantalla HMI DELTA DOP-B03E11 .. | 19 |
| Tabla 5: Especificaciones técnicas del variador de frecuencia DELTA | 20 |
| Tabla 6: Características de la electroválvula de 110 V: | 21 |
| Tabla 7: Especificaciones del motor trifásico | 22 |
| Tabla 8: Especificaciones generales del sensor ultrasónico UB800-18GM40-I-V1 | 25 |
| Tabla 9: Información técnica del cable V1_G-5M-PVC..... | 26 |
| Tabla 10: Datos técnicos de sensor Sharp 0A41SK F 7Y..... | 27 |
| Tabla 11: Características de la Bomba Centrifuga THEBE TH-16 NR..... | 29 |
| Tabla 12: Característica del sensor flotador | 30 |
| Tabla 13: Elementos del tablero eléctrico y su función. | 39 |
| Tabla 14: Asignación de IP del PLC y PC | 41 |
| Tabla 15: Parámetros de la instrucción MB_COMM_LOAD. | 46 |
| Tabla 16: Parámetros de la instrucción MB_MASTER. | 47 |
| Tabla 17: Lectura y escritura de frecuencia al variador. | 48 |
| Tabla 18: Registro del Variador de frecuencia..... | 54 |
| Tabla 19: Parámetros del bloque instrucción PID_COMPACT | 58 |
| Tabla 20: Parámetros de configuración del Variador de Frecuencia | 64 |
| Tabla 21: Configuración de pines del Variador de frecuencia y el módulo CM 1241 RS422/485..... | 65 |
| Tabla 22: Características técnicas de los 3 tipos de PLC | 72 |
| Tabla 23: Presupuesto de equipos implementados..... | 74 |
| Tabla 24: Cotizaciones de equipos similares. | 74 |
| Tabla 25: Valores de las pruebas de calibración para el sensor ultrasónico. | 76 |
| Tabla 26: Valores de las pruebas de calibración para el sensor infrarrojo..... | 77 |
| Tabla 27: Resultados del sistema para el control del motor trifásico..... | 80 |
| Tabla 28: Resultados del sistema para el control de la bomba centrifuga. | 80 |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| ANEXO 1: Variables utilizadas en la programación del sistema. | 86 |
| ANEXO 2: Bases de datos del sensor ultrasónico y el sensor infrarrojo. | 87 |
| ANEXO 3: Valores escogidos para la dosificación del desinfectante. | 88 |

INTRODUCCIÓN

Este trabajo presenta el diseño e implementación de un sistema para la preparación de un desinfectante para los botellones de agua, el cual se desarrolló a través de investigación, además de las visitas técnicas realizadas a las diferentes empresas de la provincia de Santa Elena, donde se comprobó que las mismas no cuentan con sistemas automáticos para la desinfección de los botellones.

Este trabajo de titulación está conformado por 5 capítulos, el capítulo I se detalla todo lo relacionado a los beneficios que conlleva la implementación del sistema con su respectiva justificación basado en hechos reales a través de las investigaciones realizadas a las empresas purificadoras de agua.

En el II capítulo se describen los fundamentos teóricos, además de detallar minuciosamente los elementos y componentes que se implementó en el desarrollo del sistema, protocolos de comunicación y tipos de control que tendrá la planta para su correcto funcionamiento.

En el capítulo III se describe los componentes físicos y lógico que utiliza el sistema, con el fin de definir los equipos y softwares que se empleara para programación e interfaz para la monitorización de la planta.

El capítulo IV muestra paso a paso el procedimiento que se realizó para la implementación de la planta empezando con el diseño de los tanques de acero inoxidable, ubicación de los componentes nuevos al tablero de control, colocación de sensores, programación del sistema a través del lenguaje de escalera concluyendo con la elaboración del interfaz de los 4 procesos en el HMI para el monitoreo del sistema en el software Dopssoft.

El capítulo V se obtiene los resultados de la calibración de los sensores y los parámetros de los controles PID a través de las diferentes pruebas realizada en el sistema, además de incluir las conclusiones y recomendaciones para el correcto funcionamiento de la planta.

CAPÍTULO I

1 FUNDAMENTACIÓN

1.1 ANTECEDENTES

En la actualidad en el Ecuador existen empresas dedicadas a la purificación de agua y distribución de estas para el consumo humano sin embargo se tienen provincias pocos desarrolladas donde existen microempresas que se dedican a esto de manera artesanal, las cuales necesitan optimizar su proceso aplicando técnicas de automatización para reducir los tiempos en la elaboración de este producto.

El desarrollo de la tecnología ha obligado a que las industrias procesadoras de agua se hayan visto en la obligación de innovar, es decir cambiar la producción de manera artesanal por sistemas automáticos de control optimizando todas las etapas del proceso.

En la provincia de Santa Elena las empresas purificadoras de agua cuentan con un sistema manual para la elaboración del desinfectante en los botellones de agua, provocando pérdida de tiempos de producción y corriendo riesgo de que los botellones no estén completamente desinfectados; por eso es fundamental realizar un sistema automático de mezcla que garantice la calidad del producto.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO:

Se considera implementar un sistema automatizado para la preparación del desinfectante de los botellones, este sistema realizara la mezcla del dióxido de cloro con agua potable en un tanque de acero inoxidable donde el dióxido de cloro se colocará en un tanque reservorio de aluminio ubicado a una altura de 1,5 m y el agua potable se obtendrá de una llave, la mezcla de estos dos componentes nos permitirá desinfectar completamente el botellón evitando que el agua purificada sea contaminada.

Para la supervisión del sistema automático se desea utilizar una pantalla táctil HMI (interfaz hombre-máquina), para controlar los procesos que se estén realizando. Mientras que para el llenado del tanque donde se realizara la mezcla será controlado por sensores, estos sensores enviaran datos al PLC (programador lógico controlable) que se encargara de recibir, procesar dichos datos, además de controlar la variación de flujo aumentando o disminuyendo la velocidad de marcha en la bomba y la dosificación del dióxido de cloro.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Automatizar el proceso de preparación del desinfectante para el lavado de botellones, mediante el uso de HMI y PLC.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar el sistema de control para la elaboración del desinfectante.
- Identificar los procesos del sistema y las alarmas a través de pantalla HMI para el monitoreo de la planta.
- Establecer valores de PID para el control del motor y la bomba centrifuga
- Obtener el mínimo error de medición de los sensores mediante las pruebas experimentales.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Este trabajo de titulación nace de la necesidad en la producción de un desinfectante para el lavado de los botellones en las envasadoras de agua purificadoras y a los avances tecnológicos que surgen con el transcurso del tiempo, orientado a los sistemas automatizados en la elaboración de mezclas, perfeccionar los conocimientos y destrezas de cada estudiante de ingeniería en electrónica y telecomunicaciones tanto teóricos como prácticos.

En la elaboración del desinfectante de forma manual existen varias probabilidades de cometer errores debido a que la persona encargada de preparar esta sustancia pueda olvidar la proporción de la dosificación, distraerse, fallarle el pulso, puede equivocarse en la dosificación colocándole poco o mucha sustancia, esto implicaría que el desinfectante tenga dos posibles consecuencias; si le coloca mucha sustancia química puede dañar el producto hasta causar sustancias tóxicas, perjudicando la salud del consumidor; por el contrario, si aplicamos poco desinfectante, el botellón no estará completamente desinfectado, esto provocaría que el producto se vuelva a contaminar, lo que se desea con este proyecto es garantizar un producto de calidad que cumpla todas las normas establecidas por NTE INEN 1 108.

Este sistema automatizado para la preparación del desinfectante planteado en el trabajo de titulación ofrecerá los siguientes beneficios:

- ✓ Permite el funcionamiento automático del sistema, haciendo que la mano de obra humana no sea necesaria en el proceso.
- ✓ Controlará automáticamente el nivel de llenado de la solución desinfectante permitiendo mantener un estándar en el proceso final.
- ✓ Controlar la velocidad con el cual se va a realizar la mezcla.
- ✓ Utilizada un interfaz hombre – máquina cuando sea necesario, que controlara los procesos en tiempo real.

1.5 ALCANCE

Este sistema de automatización para la preparación del desinfectante empleará PLC para el control automático del sistema de dosificación de los distintos actuadores, a través del algoritmo de control, además de calcular y regular la velocidad del motor con el cual mezclará las sustancias.

Se utilizará el software TIA Portal v13 con el cual se diseñará los procesos que empleará nuestro sistema de mezcla, también se colocará una pantalla táctil que servirá como el interfaz hombre-máquina para controlar los procesos, visualizar datos de potencia, frecuencia y nivel.

1.6 METODOLOGÍA

1.6.1 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

La metodología para este sistema automatizado se basó en investigación bibliográfica debido a los diferentes procesos a controlar como nivel, frecuencia del variador delta, sensores infrarrojos, sensores ultrasónicos y a las sustancias químicas que servirá para la preparación del desinfectante, estas investigaciones se realizaron en revistas, libros y artículos relacionados al sistema automático a implementar.

1.6.2 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

Con esta metodología lograremos confirmar si los datos investigados sobre la cantidad de dosificación de dióxido de cloro y agua potable se cumplen en la práctica.

1.6.3 INVESTIGACIÓN DE CAMPO

Con la cual se pudo observar los distintos mecanismos e instalaciones que tiene una planta purificadora de agua en la elaboración del desinfectante, aunque algunas de ellas no cuentan con estos sistemas de preparación de sustancias que ayuden a desinfectar el botellón de agua, gracias a estas visitas técnicas sirvió para las mejoras tanto en la producción como en el diseño del sistema.

CAPÍTULO II

2.1 MARCO CONTEXTUAL

Según la publicación que realizó la Cámara de Comercio de Santo Domingo el 6 de septiembre del 2015 asegura que solo la purificadora de agua (Agua Cero 2) posee la tecnología para purificar el agua, esta empresa cuenta con 5 habitaciones donde en una habitación realizan el proceso de purificar, la segunda la utilizan para desinfección de botellones, otra habitación donde embotellan el agua y las dos restante habitaciones almacenan el producto que son entregadas a varias provincias como Manabí, Esmeralda y los Tsáchilas que visitan a diario la planta. La revista Líderes afirma que en varias provincias expendedoras de agua no cuenta con la tecnología necesaria para la desinfección de los botellones como la purificación del agua, su forma de desinfectar como la purificación es de manera artesanal. (Loor, 2015)

Este proyecto se realizará en la provincia de Santa Elena dentro del campus UPSE, en el laboratorio de automatización, la implementación de este proyecto se va a efectuar debido a que la empresas purificadoras de agua no cuenta específicamente con un sistema de automatización para el proceso de desinfección de botellones de agua, optimizando recursos y garantizando seguridad al operario o encargado de la planta; para el desarrollo de la misma se contara con un interfaz hombre máquina que nos permitirá supervisar y controlar la variables de procesos, que se verán reflejadas mediante la transmisión de información que se generara en la pantalla HMI en tiempo real, permitiendo corregir algún error que se presente dentro del proceso de elaboración del desinfectante.

Para el proceso de dosificación del dióxido de cloro con el agua, se realizará mediante pruebas, para el diseño de la aplicación del sistema automático del desinfectante se contará con la norma ISA S101 que es unos de los entes reguladores para la creación de diseños de proceso industriales.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Comunicación industrial

Debido al avance tecnológico de las comunicaciones y su aplicación en las industrias, ha permitido la comunicación a través de redes industriales, automáticamente, de manera segura y entre sí; es por eso que las comunicaciones juegan un papel fundamental en el área industrial.

Los objetivos de las comunicaciones industriales son los siguientes:

- a) Controlar y coordinar sistemas automáticos a través del intercambio de información entre los distintos sistemas, autómatas programable o PCs industriales encargados del proceso industrial que se esté ejecutando.
- b) Monitorear los distintos procesos que se estén llevando a cabo mediante puntos de controles, que estén situado dentro o fuera de la planta a través de una conexión de redes de datos éstas pueden ser públicas o privadas.
- c) Aumentar la seguridad en las zonas industriales mediante la colocación de sistemas de alarma para el control y supervisión a través de estaciones remotas, evitando contratiempos en procesos de alto riesgo. (Gil, 2017, pág. 428)

2.2.2 Autómata programable o PLC

Los PLC (Programmable Logic Controller) son sistemas basados en microprocesadores con el objetivo de controlar procesos industriales. Los primeros sistemas de automatización se basaban en un conjunto de relé que realizaba la función del control industrial, en la actualidad los autómatas programables fueron creados para imitar este funcionamiento.

La función de los PLC es leer constantemente los estados de entrada, ejecutando un programa para modificar si es necesario el valor de su salida, los valores de entradas vienen dado por pulsadores, fines de carrera, interruptores, etc. Los cuales

son valores digitales de un bit y las salidas van dirigidas a lámparas, contactores, motores, etc. De esta manera los PLC se encargan de controlar procesos de plantas, industrias o máquinas.

La tecnología PLC, utiliza directamente la infraestructura de cableado existente. Como resultado, la topología de red para comunicarse depende en gran medida de la topología de cableado de red. (Liu, 2013, pág. 10).

2.2.3 HMI.

Las siglas en idioma inglés HMI, (Human Machine Interface) es el interfaz entre los procesos de una máquina con el usuario, debido que nos permite la supervisión y el control de los procesos de producción, consiste en mostrar mediante pantalla toda la información de los distintos valores de las variables de proceso, permitiendo la interacción de forma sencilla con los mismo en tiempo real a través el uso de software. (Salazar & Mejia Arango, 2017, pág. 5)

2.2.4 Norma ISA S101 para el diseño HMI

Para el diseño HMI del proceso del desinfectante para los botellones de agua se considera las siguientes recomendaciones establecida por la NORMA ISA S101 el cual generará mayor confiabilidad en la construcción y diseño del HMI lo que permitirá aumentar la eficiencia en el control de procesos industriales.

- Sencillez en los gráficos del diseño ofreciendo al usuario fácil comprensión en la lectura de los datos del proceso en ejecución.
- El tipo de control que emplee el sistema tiene que ser sencillo para el manejo e interacción del usuario.
- El contenido de la interfaz debe poseer los datos necesarios como tarea y actividades solicitadas por el operador.
- Los símbolos y el estado del proceso tienen que estar especificado, en tal forma que el operador pueda entender de una manera simple y significativa. (A. & Patrick, 2012, págs. 55-58)

2.2.5 Protocolos de Comunicación

2.2.5.1 Profinet

Se emplea estándares como TCP/IP (Transmission Control Protocol) para identificar, configurar y establecer parámetros, debido a que se basa en Tecnología Ethernet permitiendo fácil accesibilidad a la automatización concediendo en la comunicación la misma información, desde el nivel de campo hasta el nivel de producción. (Piga & Metter, 2018, pág. 23)

Profinet cuenta con las siguientes particularidades:

- **Tiempo - Real:** cuenta con la capacidad de anteponer y de utilizar de mejor posible la pila de comunicación de las estaciones de bus. Posee alta capacidad en la transmisión de datos con componentes de red estándar en el entorno de la automatización.
- **Isócrono Tiempo – Real:** la comunicación en tiempo real a través por hardware proporciona información de intervalos de igual duración con ciclos de actualización muy cortos para procesos que requieran respuesta rápida.

2.2.5.2 Modbus

Es un protocolo de comunicación de fácil implementación debido a que su transmisión de datos es sin limitaciones, desarrollado por la empresa MODICON en el año 1979, este tipo de protocolo de comunicación se basa en arquitecturas Maestro/Esclavo donde su función especial es la transmisión de datos entre los equipos electrónicos industriales de una misma planta conectado en el mismo bus, con un maestro (PLC) y varios esclavos con un máximo de 247 donde cada esclavo debe poseer una dirección distinta a los demás. Debido que MODBUS utiliza protocolos de nivel de comunicación, existen tres versiones del Protocolo MODBUS: Modbus TCP, RTU y ASCII. (Pardo Alonso, 2013).

2.2.5.3 Modbus TCP

Modbus también se puede transportar mediante Ethernet usando TCP, debido a que es la forma más común que utiliza Modbus como para transportar sobre IP para emitir comandos y mensajes a través de redes enrutables modernas es decir cliente servidor.

2.2.5.4 Modbus RTU

Este tipo de comunicación realiza la transmisión de datos en condición binaria plana sin que los bytes sufran algún tipo de conversión. Se implementó para las comunicaciones en bus serie, se caracteriza por mejorar la velocidad de transmisión de datos gracias al canal de comunicación. Tiene una desventaja que necesita de un intervalo de tiempo entre bytes recibidos para identificar cuando empieza y termina la trama.

Fija los límites de trama a través de intervalos de tiempo de caracteres de silencio que tiene un lapso de tiempo de un byte de datos enviado por el medio, pero no porta datos y su duración depende de la velocidad y del número bits que se utilicen para su codificación.

2.2.5.5 Modbus ASCII

Utiliza 7 bits de datos para comunicarse donde el inicio de trama es con el carácter (:) mientras que el fin de trama lo realiza con los caracteres carrier return + line feed (CRLF). (Knapp D. & Langill, 2014, págs. 26-27).

2.2.6 Mezcla

La mezcla se consigue al unir dos o más elementos que no se combina químicamente entre ellos, por ejemplo, podemos mezclar agua con aceite o polvo de plata con polvo de oro, no importa la cantidad de plata o de oro siempre el resultado será una mezcla. Si colocamos una cucharada de azúcar en una pipeta

con agua y agitamos suficientemente, el azúcar se disuelve en el agua obteniendo una disolución (mezcla) de azúcar en agua. Podemos variar la cantidad de azúcar que le coloquemos en una pipeta con agua, media cucharada o una cucharada de azúcar, lo que obtendremos es una disolución de azúcar de diferentes proporciones. Las mezclas pueden ser homogénea o heterogénea donde las mezclas homogéneas son disoluciones es decir mantienen su composición igual en todo su volumen y no se pueden ver a simple vista.

Las mezclas heterogéneas son combinaciones de elementos que a simple vista se pueden observar y no presentan aspectos uniformes es decir elementos que no tienen igual masa o de componentes diferentes y no se pueden mezclarse completamente. Es posible separar las partes de unas mezclas heterogéneas con métodos mecánicos. (kresisch, 2016, pág. 2)

2.2.7 Tipos de control

Dependiente del tipo de producción que el sistema de control este realizando, se clasifican en dos tipos:

- ✓ sistemas de lazo abierto
- ✓ sistemas de lazo cerrado.

2.2.7.1 Control de lazo abierto

En un sistema de lazo, la información que se genera en la salida no se realimenta a la entrada de referencia, por ello la entrada del proceso del sistema implica una predicción necesaria para el valor deseado. Es de fácil implementación y no es tan costoso el único defecto es que en la salida del proceso podemos tener valores de error perturbaciones no deseadas afectando al proceso. Un claro ejemplo es la secadora, la cual está programada para ejecutar varias tareas necesarias en el secado y al no recibir ningún dato por el proceso este termina su tarea después de un tiempo determinado.

2.2.7.2 Control de lazo cerrado

Este tipo de sistema es muy común en procesos industriales de producción debido a que la información que se genera durante el proceso se realimenta en la entrada del controlador. Durante la realimentación se compara el valor de salida con un valor de referencia si encuentra un error el controlador realiza unos cambios para obtener el valor deseado. (Arturo, 2017)

2.2.8 PID

Un PID es un mecanismo de control por realimentación en el cual corrige el valor de la variable de interés en la salida del sistema, a través del cálculo matemático de la variable de entrada y un valor que se quiere ajustar. Para lograr el valor deseado el control PID cuenta con 3 posibles parámetros diferentes con el fin de corregir las perturbaciones en el sistema: Control Proporcional, Control Integral y el Derivativo.

El control PID puede trabajar como un control PI haciendo $T_d = 0$, como un PD haciendo $T_i = \infty$ y como Proporcional logrando que $T_d = 0$ y $T_i = \infty$. (Merino & LIno, 2017)

2.2.9 Control de nivel

En la actualidad los dispositivos encargados al control del nivel de un tanque o recipiente son los sensores, estos sensores pueden ser de proximidad, infrarrojos o ultrasónicos, siendo los encargados de enviar información al controlador previamente programado, con el fin de accionar dispositivos de alarmas, apagado de valvular, encendido de motores, etc.

2.2.10 Variador de frecuencia

(Castillo & Garcia Garcia, 2012, pág. 207) Son dispositivos industriales de potencia encargados de modificar la velocidad del motor, cambiando la frecuencia

de entrada, ya que los motores son equipos que necesitan de corriente alterna para su correcto funcionamiento. Dependiendo del modelo del variador su programación se puede realizar de distintas formas:

- Desde una pequeña pantalla incluida por el fabricante del variador.
- Mediante un dispositivo externo que se vende por separado del producto
- Por ordenador a través de software y conectado por cable.

2.3 MARCO TEÓRICO

Los trabajos citados están relacionado a la implementación y diseño de un sistema de automatización para la preparación del desinfectante para el lavado de botellones:

El proyecto de titulación presentado en el año 2016 en Guayaquil por la Escuela Superior Politécnica del Litoral trata del tipo de desinfectante y dosificación que se emplea para eliminar las bacterias en las carcasas de pollo, este tema se escogió como guía para la elección de la sustancias que utilizara el desinfectante en los botellones de agua debido al valor del pH y al no afectar al ser humano, basados en un sistema de control con las cantidades exactas que emplea la mezcla, el cual propone el diseño de automatización de dosificación en dichas etapas, considerando el dióxido de cloro como desinfectante debido a la eficacia de quitar virus, hongos y otros organismo patógenos con la finalidad de brindar un producto con los altos estándares de calidad. (Calderon & Mabel, 2016)

El trabajo realizado en la Universidad Simón Bolívar donde implementan un sistema de dosificación mediante dos procesos; las cuales utilizan equipos como tolvas, electroválvulas, sensores ultrasónicos y de lenguaje LADDER para programar el PLC, posee pantallas HMI y alarmas para la supervisión de los procesos, su método se basa en colocar la materia prima en tanques de forma de pirámide controlado por electroválvulas ubicados por encima del tanque que realiza la mezcla, ya que debido a la gravedad y al accionamiento de las electroválvula se procederá a descargarse el compuesto en el tanque que realizará la mezcla. Este modelo de dosificación servirá para el tipo diseño, equipos

electrónicos y alarma que utilizará el primer proceso de elaboración del desinfectante, utilizando como materia prima el dióxido de cloro. (Jose Manuel, 2006)

El trabajo de titulación presentado en el 2017 en la Universidad Estatal Península de Santa Elena donde se implementa un sistema de control de nivel y de flujo mediante PLC, aportará al diseño y control de nivel del llenado de los tanques donde se realizará el proceso de mezcla y almacenamiento del desinfectante, su método de control se basa en pruebas experimentales con ayuda de equipos electrónicos como sensores, bombas, variador de frecuencia, PLC, pantalla HMI y módulos de comunicación. Para la ejecución de los procesos correspondiente al sistema de mezcla, se establecieron parámetros de control PID mediante el método de autosintonización a través del Programa TIA Portal. (Perero, 2017).

CAPÍTULO III

3.1 COMPONENTES DE LA PROPUESTA

3.1.1 COMPONENTES FÍSICOS

3.1.1.1 Controlador Lógico Programable

El modelo del PLC que se muestra en la figura 1, que emplearemos para nuestro sistema de dosificación es Siemens S7-1200 1212C nos permitirá controlar los distintos procesos a través de sus entradas y salidas accionando a otros equipos del sistema como: contactores de motor, variador de frecuencia, electroválvulas entre otros. El Simatic S7-1200 ofrece características técnicas que se detallaran en la tabla 1 con sus respectivos puertos tanto de entradas como salidas, entre las cuales mencionaremos algunas de las características importantes.

- Las entradas analógicas vienen incluidas.
- Programación del PLC a través del software STEP 7 Basic v13.
- Cuenta con interfaz Ethernet / PROFINET incluida.
- Posee una capacidad de procesamiento de hasta 64 bits.



Figura 1: PLC S7-1200 CPU 1212C]

| Datos técnicos del PLC S7-1200 CPU 1212C AC/DC/relé | |
|---|--------------------|
| Tensión de alimentación | 120v AC 230v AC |

| | |
|--|--|
| Alimentación de sensores | 20,4 a 28,8 V |
| Memoria | 50 kbyte |
| Tiempos de ejecución de la CPU Para operaciones de bits, tip. Para operaciones de palabras, tip. Para aritmética en coma flotante, tip. | 0,085 us; /instrucción 1,7 us; /instrucción 2,5 us; /instrucción |
| Entradas digitales | 8; de ellas 4(High Speed Counting) son para funciones tecnológicas. |
| Salidas digitales | 6; Relé |
| Entradas analógicas | 2; 0 a 10 V |
| Tipo de interfaz | PROFINET |
| Condiciones ambientales | -20 a 60 grados centígrados |
| Lenguaje de programación | - KOP - FUP - SCL |
| Tiempo de espera | 0 a 65535 ms |
| Peso | 425 g |

Tabla 1: Datos Técnicos del PLC S7-1200: Siemens

3.1.1.2 Módulo de comunicación

El módulo de comunicación CM 1241 de la figura 2, es un dispositivo utilizado especialmente en redes industriales con equipos que poseen un puerto serial, el cual nos permitirá establecer comunicación entre el PLC y el variador de frecuencia través del conector RS-485.

En la tabla 2 se mostrará los datos técnicos del módulo de comunicación y en la tabla 3 se detalla los pines que emplea el conector (hembra) RS-485 con su respectiva descripción para establecer comunicación.



Figura 2: Módulo de comunicación CM 1241 RS422/485

| Datos técnicos del CM 1241 RS422/485 | |
|---|------------------------|
| Datos generales | |
| Tipo | Módulo de comunicación |
| Clase | CM 1241 |
| Datos eléctricos | |
| Voltaje de entrada | 24 v DC |
| Rango Admisible | 20,4 – 28,8 V DC |
| Intensidad de entrada | 220 mA |
| Dimensiones | |
| Ancho | 30 mm |
| Alto | 100 mm |
| Profundidad | 75 mm |
| Conexión | 9-pin Sub-D clavija |
| Condiciones ambientales | |
| Temperatura ambiente min. | -20 °C |
| Temperatura ambiente máx. | 50 °C |
| Interfaz | RS422/485 |

Tabla 2: Datos Técnico del módulo CM 1241 RS422/485

| Datos de los pines del conector RS-485 | | | |
|---|---|---------------------------|---|
| PIN | Descripción | Pin | Descripción |
| 1 | Masa lógica o de comunicación | 6 | +5V con resistor en serie de 100 ohmios: Salida |
| 2 TxD+ 1 | Sin uso para RS485 | 7 | Sin conexión |
| 3 TxD+ | Señal B (RxD/TxD+): Entrada/Salida | 8 TxD | Señal A (RxD/TxD-): Entrada/Salida |
| 4 RTS² | Petición de transmitir (nivel TTL) salida | 9 TxD-¹ | Sin uso para RS485 |
| 5 GND | Masa lógica o de comunicación | SHELL | Conexión a masa |

Tabla 3: Datos de los pines del conector RS-485: unilibre.edu.com

3.1.1.3 Pantalla Hmi Delta Dop-B03211

En la figura 3 se muestra la pantalla HMI, este equipo permitirá controlar y monitorear de los procesos que ejecutará el sistema de la preparación del desinfectante, permitiendo visualizar el llenado del tanque donde se realizará la mezcla, control ON /OFF de la bomba, el encendido o apagado de válvulas, controlar la velocidad del motor y de implementar las alarmas. En la tabla 4 se describe las características físicas de la pantalla HMI delta DOP-B03E211



Figura 3: Pantalla HMI DELTA

| PANTALLA HMI MODELO DELTA DOP-B03E11 | |
|---|-------------------------------|
| Color de display | Color |
| Tipo de display | TFT LCD (65536 colores) |
| Longitud, profundidad, anchura | 129mm, 39mm, 103mm |
| Tamaño de pantalla | 95,04 x 53,856 mm |
| Tensión de alimentación | 24 Vdc |
| Corriente de Consumo | 300 mA |
| Puerto de comunicaciones | COM 1= RS-232/RS-485 |
| Numero de Puertos | 2 |
| Tipo de Puerto | COM, Ethernet |
| Temperatura de func. Min. | 0 ⁰ C |
| Temperatura de func. Max. | +50 ⁰ C |
| Memoria integrada | 128 MB |
| Backut Memoria | 16 Mb |
| MCU | 32-bit RISC micro controlador |

Tabla 4: Datos técnicos y eléctricos de la pantalla HMI DELTA DOP-B03E11

3.1.1.4 Variador De Frecuencia

El variador de frecuencia Delta de la figura 4 es un dispositivo que permitirá controlar electrónicamente la velocidad del motor trifásico y de la bomba

centrifuga mediante la variación de frecuencia en los motores, acelerando el proceso de la mezcla y del llenado del segundo tanque con el desinfectante. En la tabla 5 se detalla algunas de las especificaciones técnicas del variador DELTA.



Figura 4: Variador de Frecuencia Modelo VFD007EL21A

| MODELO: | VFD007EL21A |
|------------------------------------|-----------------------------|
| Tensión de alimentación | 230 V AC |
| Rango de frecuencia | 0, 1 – 600Hz |
| Potencia de entrada | 1 HP – 0.75 KW |
| Corriente de salida | 4.2 Amperios |
| Potencia de salida | 3 HP |
| Tolerancia de frecuencia | +5% (47 – 63 Hz) |
| Nivel de protección contra bloqueo | 20 – 200% Corriente Nominal |

Tabla 5: Especificaciones técnicas del variador de frecuencia DELTA

3.1.1.5 Electroválvula De Bronce 110v

La válvula mostrada en la figura 5 trabaja cuando esta energizado permitiendo tener el control del paso del agua hacia el tanque donde se realizará la mezcla homogénea, mediante dos estados, normalmente abierto (NA) para el paso del agua y normalmente cerrado (NC) para el bloqueo del agua. En la tabla 6 se detallan las características de la electroválvula.



Figura 5: Electroválvula 2W41 110 V

| Características de la electroválvula de bronce | |
|--|-------------|
| Modelo | 2W41 |
| Medida | 1/2 Pulgada |
| Presión | 0 – 10 bar |
| Voltaje. | 110 – 120 V |

Tabla 6: Características de la electroválvula de 110 V:

3.1.1.6 Motor Trifásico 1hp Siemens

En la figura 6 se muestra el motor trifásico el cual sirve como fuerza mecánica para el movimiento del con ayuda del variador de frecuencia para la optimización de tiempo. En la tabla 7 se especifica las características del motor trifásico.



Figura 6: Motor trifásico 1HP 1LE0142.

| Características del motor Trifásico | |
|--|--------------------|
| Modelo del motor | 1LE0142-0DB36-4AA4 |
| Marca | SIEMENS |
| potencia (HP) | 1 |
| Tipo de construcción | IBM3 |
| Grado de protección | IP55 |
| Rango de tensión | 220/380 |
| Frecuencia (Hz) | 60 |
| Corriente nominal | 3.30/1.9 |
| Factor de potencia | 0.77 |
| Valor de eficiencia | 77.0% |
| Velocidad nominal | 1720 |
| Peso del motor (kg) | 15 |
| Norma de fabricación | IEC60034 |
| Clase térmica | F |
| Tamaño constructivo | 80M |
| Temperatura amb. Max | 40 0C |
| Tipo rodamiento lado accionamiento | 6204 2Z C3 |
| Tipo rodamiento lado no accionamiento | 6204 2Z C3 |
| Clase de eficiencia | IE1 |
| Método de balanceo | H |

Tabla 7: Especificaciones del motor trifásico

3.1.1.7 Agitador

Este equipo como se observa en la figura 7 va acoplado al motor trifásico, el cual posee 4 aspas colocados en ángulo de 45 grados permitiendo la mezcla entre el agua y el dióxido de cloro a través de movimientos circulares ejercidos por la turbina.



Figura 7: Agitador.

3.1.1.8 Sensor ultrasónico UB800-18GM40-I-V1

Este dispositivo como se muestra en la figura 8 permitirá la medición de nivel en el tanque de mezcla, otorgando señales continuas, su funcionamiento consiste en el envío de ondas ultrasónicas midiendo el tiempo en que la señal tarde en regresar. En tabla 8 se detallan las características básicas del sensor ultrasónico.



Figura 8: Sensor ultrasónico UB800-18GM40-I-V1

| Especificaciones generales del sensor ultrasónico UB800-18GM40-I-V1 | |
|--|----------------|
| Rango del sensor | 5 - 80 cm |
| Ajustamiento de rango | 7 - 80 cm |
| Zona ciega | 0 – 5 cm |
| Estándar | 10 x 10 cm |
| Frecuencia del transductor | Aprox. 255 kHz |

| | |
|---|--|
| Retardo de respuesta | Aprox. 100 ms |
| Elementos de indicación y manejo | |
| LED verde | Power on |
| LED amarillo | Amarillo permanente: objeto en rango evaluación Amarillo intermitente: objeto detectado |
| LED rojo | Rojo permanente: Avería Rojo intermitente: objeto no detectado |
| Datos eléctricos | |
| Tensión de trabajo | 10 ... 30 VCC, rizado 10% ss |
| Corriente en vacío | ≤ a 20 mA |
| Entrada | |
| Modo de entrada | 1 entrada memorización Rango de conmutación 1: -Ub ... +1 V Impedancia de entrada: > 4,7 kΩ impulso memorización: ≥ 1 s |
| Salida | |
| Tipo de salida | 1 salida de conmutación E5: pnp, N. A:/N.C, parametrizable. |
| Medición de la corriente de trabajo | 200 mA a prueba de corto circuito/sobrecarga |
| Caída de tensión | ≤ a 3 V |
| Reproducibilidad | ≤ a 1 % |
| Condiciones ambientales | |
| Temperatura ambiente | -25 ... 70 °C |
| Temperatura de almacenaje | -40 ... 85 °C |
| Datos mecánicos | |
| Tipo de conexión | Conector M12 x 1, 4 polos |
| Tipo de protección | IP67 |

| | |
|---------|------------------|
| Carcasa | Latón, niquelado |
| Masa | 25 g |

Tabla 8: Especificaciones generales del sensor ultrasónico UB800-18GM40-I-V1

3.1.1.9 Conector hembra V1-G-5M-PVC.

Este tipo de conector como se observa en la figura 9 permitirá establecer comunicación entre el PLC y el sensor ultrasónico a través de sus 4 pines; en la tabla 9 se detallan los datos técnicos.



Figura 9: Conector hembra V1-G-5M-PVC.

| Información técnica del cable v1-g-5m-pvc | |
|---|-------------------------|
| Datos generales | |
| Nº de polos | 4 |
| Conexión 1 | Conector hembra |
| Tipo 1 | Recto |
| Rosca 1 | M12 |
| Conexión | Terminal de línea libre |
| Datos eléctricos | |
| Tensión de trabajo | Max. 250 V CA/CC |
| Corriente de trabajo | Max. 4 A. |

| | |
|-------------------------------------|---|
| Resistencia de tránsito | < 5 mΩ |
| Conformidad con normas y Directivas | |
| Grado de protección | EN 60529:2000 |
| Estándares | IEC 61076-2-101:2008 |
| Combustibilidad | Zona de agarre: UL 94 Conexión: IEC 60332-2-2:2004 |
| Condiciones ambientales | |
| Temperatura ambiente | Cable, tendido fijo: -25... 70 °C (-13... 158 °F) |
| Grado de ensuciamiento | 3 |
| Datos mecánicos | |
| Diámetro de pin | 1 mm |
| Grado de protección | IP67 / IP68 / IP69K |
| Cable | PVC |
| Color | Gris |
| Longitud | 5m |
| Conexión | |
| Pin café | Positivo |
| Pin azul | Negativo |
| Pin negro | Salida de la señal |
| Pin blanco | Configuración del sensor |

Tabla 9: Información técnica del cable VI_G-5M-PVC.

3.1.1.10 Sensor distancia Sharp 0A41SK F 7Y

En la figura 10 se observa el sensor Sharp infrarrojo este dispositivo permitirá medir la cantidad de litros necesario para realizar la dosificación del dióxido de cloro. Este dispositivo medirá el nivel del tanque donde estará almacenado la solución, proporcionando lectura continua de la distancia medida, variando su

voltaje entre 0.4 V a 2.7 V dependiendo la distancia del objeto detectado. En la tabla 10 se detalla algunas características de este sensor.



Figura 10: Sensor distancia Sharp 0A41SK F 7Y

| Características técnicas del sensor sharp 0a41sk f 7y | |
|--|-------------------|
| Voltaje de funcionamiento | 4.5 V a 5.5 V |
| Consumo de corriente | 12mA |
| Rango de medición | 4 cm a 30 cm |
| Tipo de salida | Voltaje analógico |
| Diferencial de voltaje de salida | 2.3 V (típico) |
| Peso | 3.5 g |
| Periodo de actualización | 16.5 +- 4 ms |
| Tamaño | |
| Ancho | 44.5 mm |
| Largo | 18.9 mm |
| Alto | 13.5 mm |

Tabla 10: Datos técnicos de sensor Sharp 0A41SK F 7Y.

3.1.1.11 Tanque de depósito de solución del dióxido de cloro

En la figura 11 se muestra el tanque de acero inoxidable con capacidad de 5.55 litros, en este tanque de forma rectangular se colocará la solución del dióxido de cloro a fin de realizar el proceso de dosificación, la base del mismo tiene forma de embudo para que en su interior no quede residuos.



Figura 11: Tanque de depósito de solución del dióxido de cloro

3.1.1.12 Dióxido de Cloro

El dióxido de cloro es una solución de color verde-amarillento creado por compuestos a través de la reacción de clorito de sodio con cloro gaseoso, debido a estas mezclas es un desinfectante más resistente que el cloro, puede atravesar las membranas celulares de las bacterias y eliminarlas, algo que el cloro no realiza.

Se empleará solución de dióxido de cloro estabilizado como desinfectante para los botellones de agua debido a que tiene una mejor solubilidad con agua y posee un mayor poder de oxidación, es decir contribuirá a retirar sabor, olor y color. En la figura 12 se muestra el pH en comparación con los demás desinfectantes. (Deininger, Ancheta, & Ziegler, 2006)

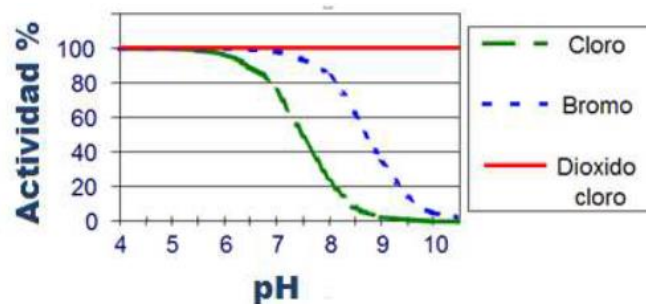


Figura 12: Actividad de pH Fuente: Prominent Academy for water technology, 2009

3.1.1.12 Bomba Centrifuga trifásica de 1/2 HP

Para el proceso del llenado del tanque donde se deposita el desinfectante, se utiliza una bomba centrifuga como se muestra en la figura 8, la cual transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio permitiendo el traslado de líquido desinfectante de un tanque a otro, a través de la absorción y expulsión, el mismo estará conectado a un variador de frecuencia para regular la velocidad de la bomba hidráulica.



Figura 13: Bomba centrifuga Thebe

| Características de la Bomba Centrifuga trifásica | |
|--|-----------------|
| Modelo | THEBE TH - 16NR |
| Frecuencia | 60 Hz |
| Voltaje | 220/380/440 V |
| Rotor | Nory1 |
| Potencia | 1/2 HP |
| Factor de servicio | 1.60 |
| Velocidad angular | 3480 rpm |
| Temperatura amb max | 40 0C |
| Presión Máxima | 4.6 bar |
| Flujo Máximo | 16.5 m3/h |
| Rendimiento | 72 % |
| Succión de agua tubería | 1.1/2 “ |
| Represión | 1” |

Tabla 11: Características de la Bomba Centrifuga THEBE TH-16 NR

3.1.1.13 Sensor de nivel de Flotador magnético

Este dispositivo como se muestra en la figura 14 indica el nivel del tanque de almacenamiento del desinfectante, puesto que su estructura se basa en un interruptor magnético y se accionan al movimiento del barril, se utiliza dos sensores flotadores uno se coloca en la parte inferior y el otro en la parte superior del tanque.

Se configurará el sensor que ira colocado en la parte inferior del tanque para que trabaje como normalmente abierto, ya que estos sensores son elaborados de fabrica para operar como normalmente cerrado. En la tabla 12 se detalla las características del sensor flotador.



Figura 14: Flotador de acero inoxidable

| Características del sensor flotador de acero inoxidable | |
|--|---------------------------------------|
| Rango de voltaje | 0-250V |
| Corriente Max. | 0.5A a 120V |
| Resistencia Circuito abierto | 100 MΩ |
| Resistencia Circuito Cerrado | 0.4 Ω |
| Potencia | 10W |
| Temperatura | -30 ⁰ – 125 ⁰ C |
| Diámetro rosca | 28 mm |
| Diámetro Tuerca | 1/8' NTP |

Tabla 12: Característica del sensor flotador

3.1.1.2 COMPONENTES LÓGICOS.

3.1.1.2.1 TIA PORTAL V13.

Este tipo de software como se muestra en la figura 125 permitirá programar los distintos procesos que empleará el PLC para la preparación del desinfectante como el control de nivel, control PID, el encendido de la bomba. Etc.

Para el desarrollo del programa se basará en el tipo de lenguaje de escalera siendo el mismo un tipo de lenguaje amigable para el programador industrial, ya que otorga facilidad en control, visualización y accionamiento.

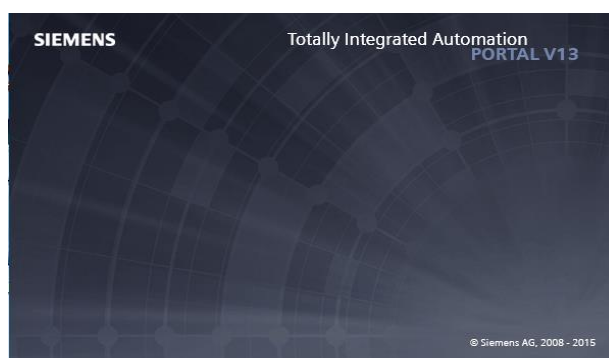


Figura 15: Software TIA Portal v13

3.1.1.2.2 SOFTWARE DOPSOFT 2.00.04

La figura 16 muestra el programa Dopsoft que sirve como interfaz gráfica para el diseño de los elementos virtuales del proceso de nivel, dosificación, mezcla, encendido de la bomba, alarmas y estados de los procesos que ejecutara el sistema de preparación del desinfectante.

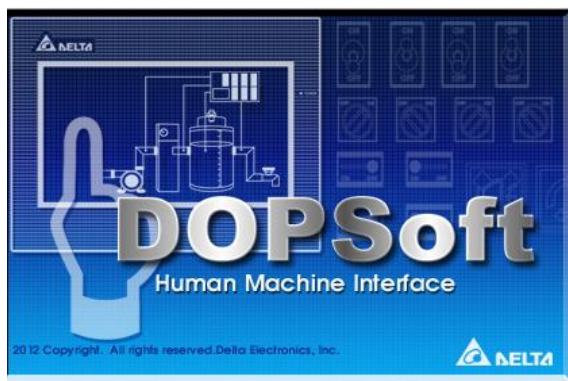


Figura 16: Software Dopsoft 2.00.04

CAPÍTULO IV

4.1 DISEÑO DE LA PROPUESTA

4.1.1 IMPLEMENTACION DE LA PLANTA

Para el diseño de la preparación del desinfectante de los botellones de agua se realizó el siguiente planteamiento para la utilización de los distintos elementos:

Tarjeta electrónica de conversores de voltaje, electroválvulas, Sensores, con el único objetivo de que cumplan con su correcto funcionamiento para la implementación del sistema de control mediante el PLC y el HMI.

4.1.1.1 Desarrollo De La Estructura De Los Tanques

Se realizó tres tipos de tanque para la ejecución del sistema y su diseño consta de los siguientes puntos:

1.- El material con que se realizó los 3 tanques es de acero inoxidable, por motivos de emplear sustancias químicas para el desarrollo del desinfectante.

2.- Cada tanque tiene medidas y forma distintas, debido al proceso que realiza.

En la figura 17 muestra el tanque de mezcla, el mismo que tiene forma cilíndrica donde la base del tanque tiene 46 cm de diámetro y su altura es de 52 cm, además de llevar una tapa con dimensiones de 46 cm de diámetro y de altura 10 cm, el diseño de esta tapa se realiza por motivos de colocar un motor trifásico en la parte superior del tanque de mezcla donde se acoplara un agitador entre los 10 cm de la tapa.



Figura 17: Tanque de mezcla

En la figura 18 se observa el tanque donde se almacenará el desinfectante puede almacenar hasta 100 litros, sus dimensiones son 40 cm de alto y el diámetro de la base es de 45 cm, además de que su base tiene 4 patas de 10 cm como soporte, dentro de este tanque se coloca 2 sensores de agua (flotadores) para indicar su nivel.



Figura 18: Tanque de Almacenamiento del desinfectante

El tanque como se muestra en la figura 19 contiene el dióxido de cloro en forma líquida, en este tanque se desarrollará el proceso de dosificación, las dimensiones de este tanque son 289 cm de base y 22cm de alto.



Figura 19: Tanque de dosificación

4.1.1.2 Diseño Del Agitador

El diseño del agitador se planteó en tres partes:

- 1.- La forma de las aspas para la mezcla entre el agua y el dióxido de cloro.
- 2.- El acoplamiento entre el agitador y el motor trifásico.
- 3.- El material con el cual se implementó el agitador.

Estos tres factores importantes fueron necesarios para la elaboración del agitador, colocando 4 aspas al agitador de forma rectangulares con medidas de 8 * 4 ubicándolos en ángulos de 45 grados lo que provoca que la mezcla se realice de abajo hacia arriba. El acoplamiento que se le coloco entre el variador y motor trifásico es de presión en forma de anillo, en la figura 20 muestra el diseño del agitador realizado en acero inoxidable



Figura 20: Diseño del agitador vertical

4.1.1.3 Sensores.

Ubicación del sensor ultrasónico para el control de nivel del tanque de mezcla

Para evitar las interferencias del campo eléctrico que produce el motor trifásico hacia el sensor se construyó un acople de plástico como se muestra en la figura 21, colocado a un extremo de la tapa del tanque de mezcla.

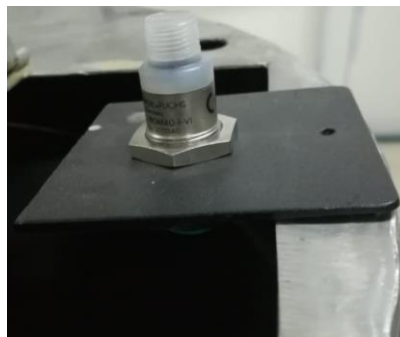


Figura 21: Acople sensor ultrasónico

Debido a que este sensor ultrasónico su salida entrega valores de corriente y el PLC tanto sus entradas como salidas son valores de voltaje, es necesario transformar el

valor de salida del sensor ultrasónico a voltaje, por tal motivo se construyó un divisor de voltaje con dos resistencias como se visualiza en la figura 22.



Figura 22: Divisor de voltaje.

Ubicación del sensor infrarrojo para el nivel del tanque del dióxido de cloro

La ubicación del sensor infrarrojo se la realiza en la parte superior de la tapa del tanque del dióxido de cloro como se observa en la figura 23, fue necesario realizar un hueco rectangular, teniendo en cuenta que el ángulo de detección del sensor no se vea afectado por las paredes del tanque.



Figura 23: Ubicación del sensor infrarrojo

Por motivos de que el voltaje de alimentación del sensor infrarrojo es de 5v y el PLC entrega una salida de voltaje de 25 voltios, se realizó un pequeño circuito como se muestra en la figura 24 con un regulador de voltaje 7805 y dos capacitores para el filtro de la alimentación del sensor.



Figura 24: Regulador de voltaje para el sensor infrarrojo

Ubicación de los dos sensores de nivel de flotador magnético.

La ubicación de los dos sensores flotadores se llevó a cabo en el tanque de almacenamiento del desinfectante, fue necesario realizarle dos huecos de 2 cm de diámetro, el primer hueco que se efectuó fue en la parte inferior del tanque a un ángulo de 800, donde se colocó el sensor de 15 cm para indicar el nivel bajo, el otro agujero se realizó en la tapa del tanque a un ángulo de 3150 para ubicar el sensor de 7 cm de largo para indicar el nivel alto del tanque.

En figura 25 se muestra la ubicación del sensor de 15cm y en la figura 26 se ilustra la posición del sensor flotador de 7 cm de largo.



Figura 25: Ubicación del sensor flotador de 15 cm



Figura 26: Ubicación del sensor flotador de 7 cm.

4.1.1.4 Topología General De Comunicación

En la figura 27 se ilustra la topología general del sistema para la preparación del desinfectante además de mostrar el tipo de comunicación entre equipos.

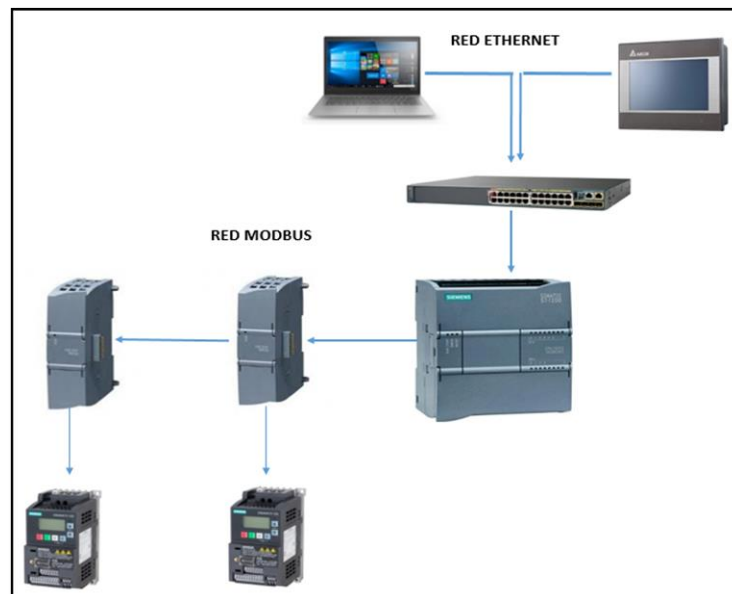


Figura 27: Topología general de comunicación

4.1.1.5 Tablero eléctrico

En la implementación del tablero de control se utilizó 1 de los 7 tablero vigente del laboratorio de automatización como se muestra en la figura 28, donde se añadió los nuevos equipos en el espacio disponible como: Dos variadores de frecuencia, luces pilotos, pulsadores, tarjetas electrónicas, relé, módulos de comunicación, disyuntores y HMI.



Figura 28: Tablero del laboratorio de automatización recibido.

Las actividades realizadas en el tablero fueron las siguientes.

- 1.- Se verifico el estado del tablero de control prestado con los equipos ya conectados como variadores, módulos de comunicación, HMI, indicadores luminosos y se comprobó continuidad de estos elementos en cada punto de conexión.
- 2.- Instalación del nuevo variador de frecuencia al tablero para el control de frecuencia de la bomba centrífuga, donde fue necesario el uso de otro breaker para la protección del mismo.
- 3.- Se procedió a la conexión del variador de frecuencia, sensores, electroválvulas, y flotadores, modificando las conexiones eléctricas que tenía al recibir el tablero de control. En la figura 29 muestra los cambios descrito anteriormente.

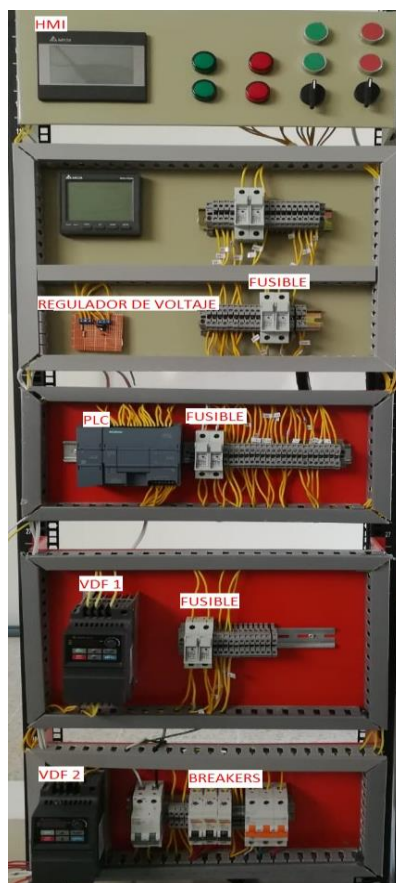


Figura 29: Tablero actual de control del sistema.

4.1.1.6 Elementos del tablero del control

En esta sección se detalla los equipos y componentes que fueron implementados en el desarrollo del proyecto:

| Descripción | Función |
|---|--|
| Tarjeta electrónica de divisor de voltaje | Convierte la corriente de salida del sensor en voltaje de entrada para el PLC. |
| Tarjeta reguladora de voltaje | Regula el voltaje que entrega el PLC para la conexión del sensor infrarrojo. |
| Fusibles | Protección para las líneas que van hacia la bomba centrífuga |
| Breaker | Protección para los variadores de frecuencia. |

Tabla 13: Elementos del tablero eléctrico y su función.

4.1.2 DIAGRAMA DE FLUJO.

En la siguiente figura muestra el diagrama de flujos del sistema para la preparación del desinfectante, en la cual está delimitada las condiciones necesarias para los 4 proceso del sistema.

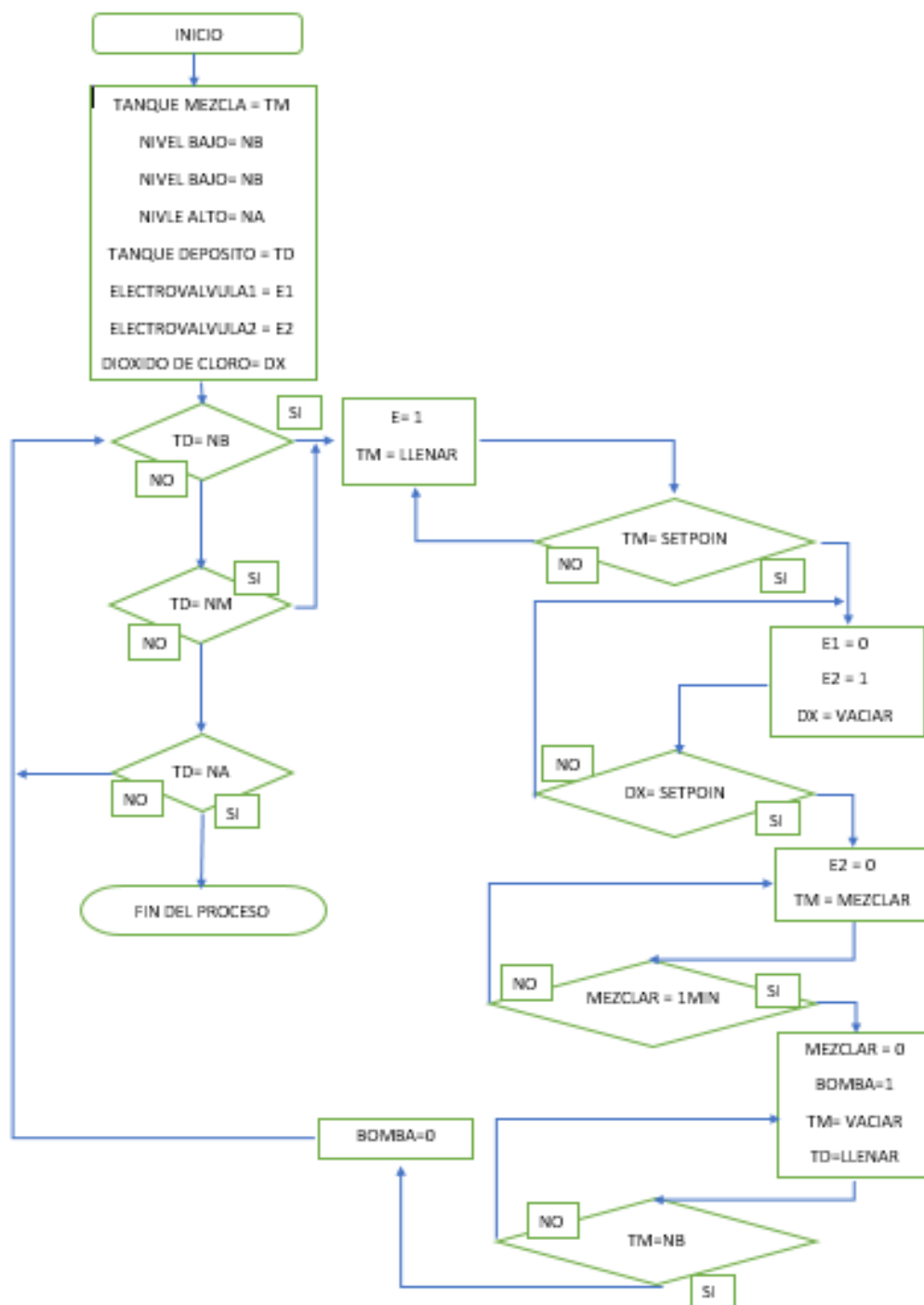


Figura 30: Diagrama de flujo del sistema para la preparación del desinfectante.

4.1.3. DESARROLLO DE LA PROGRAMACIÓN.

En esta sección fue necesario utilizar el protocolo PROFINET para establecer comunicación entre el PLC1200 1212C AC/DC/RLY y la computadora portátil. Como primer punto se crea un nuevo proyecto en el software TIA PORTAL V13 como se muestra en la figura 31 dentro de este proyecto se escoge el tipo de PLC y las tarjetas de comunicación.

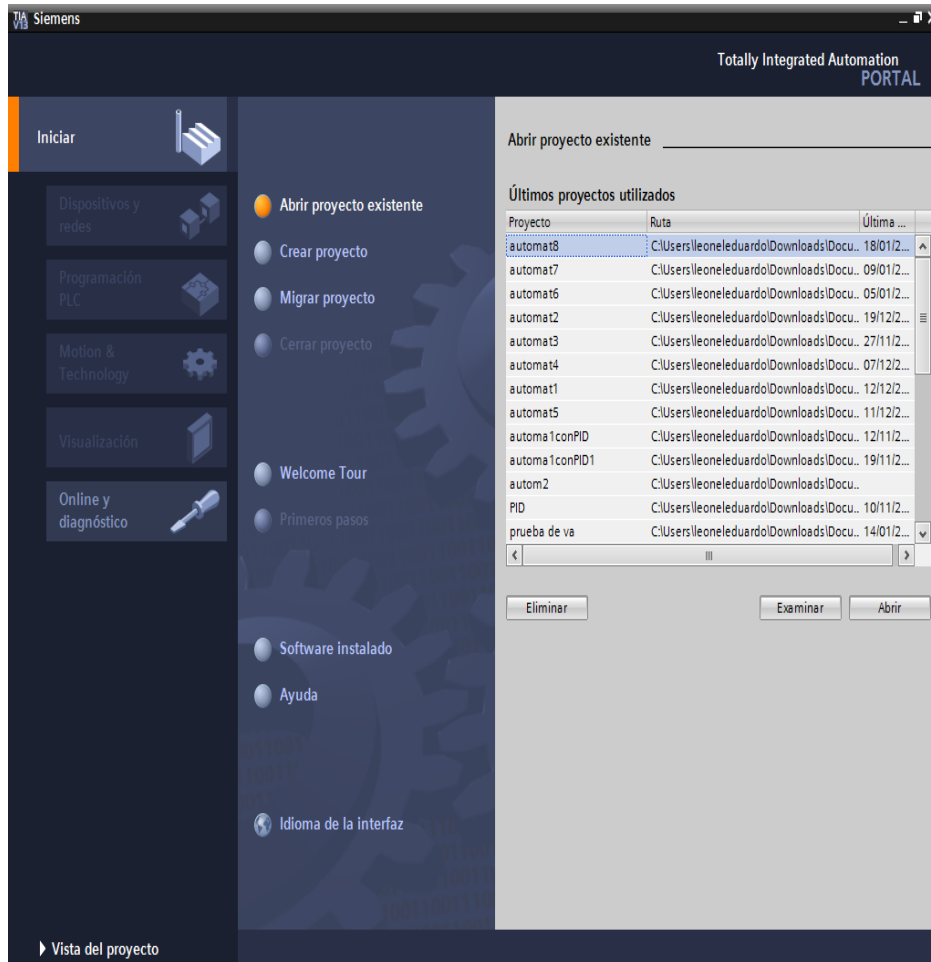


Figura 31: Software TIA Portal v13

Luego se configura las direcciones IP que tendrá el PLC como la computadora portátil, ambos tienen que estar en la misma red, para ello es necesario que estos dos equipos tengan la misma máscara como se ilustra en la tabla 14.

| Equipo | IP | Máscara |
|-------------|--------------|---------------|
| PLC S7-1200 | 192.168.0.30 | 255.255.255.0 |
| PC PORTÁTIL | 192.168.0.70 | 255.255.255.0 |

Tabla 14: Asignación de IP del PLC y PC

La programación del sistema de la preparación del desinfectante se realizó a través del bloque de función y el bloque de menú. A continuación, se detalla cada segmento de los dos bloques que fueron utilizados.

4.1.3.1 SEGMENTOS DEL BLOQUE FC

En este bloque de función se realizó las operaciones matemáticas del sistema, como: regla de tres, conversión, restas, sumas y la normalización/escalamiento de los dos sensores. A continuación, se detalla lo que se realizó en cada segmento del bloque de función.

SEGMENTO 1: NORMALIZACIÓN DE LA ENTRADA ANALÓGICA DEL SENSOR ULTRASÓNICO.

Debido a que el rango de trabajo de este sensor es de 4 a 20 mA se estable que le valor mínimo para su normalización en voltios es de 5530 y 27648 como el valor máximo como se muestra en la figura 32.

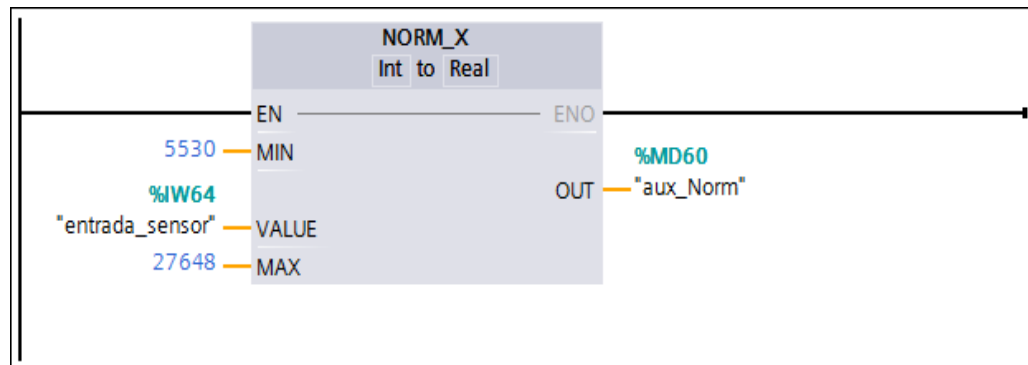


Figura 32: Normalización de la entrada analógica del sensor ultrasónico

SEGMENTO 2: ESCALAMIENTO DEL SENSOR ULTRASONICO

Puesto a que la lectura de nivel de este sensor es de forma ascendente se realizó operaciones matemáticas por partes como se muestra en la figura 33 logrando escalar de forma descendente en el rango de 0 a 52 cm.

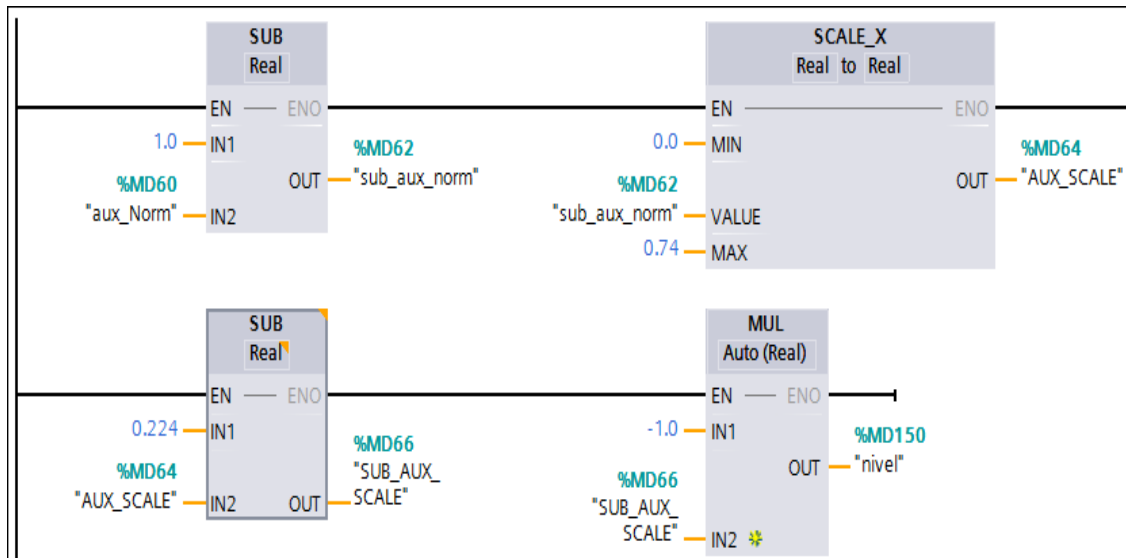


Figura 33: Escalamiento del sensor ultrasónico

SEGMENTO 3: CONVERSION DE NIVEL A LITROS

Para la conversión de nivel a litros se utilizó la fórmula del volumen de un cilindro multiplicando ese valor por 1000; obteniendo el valor en litros. En esta conversión fue necesario dos bloques de instrucción CALCULATE como se muestra en la figura 34, en uno de ellos muestra el valor de litros en entero y el otro bloque en valor real con el objetivo de tener valores exactos.

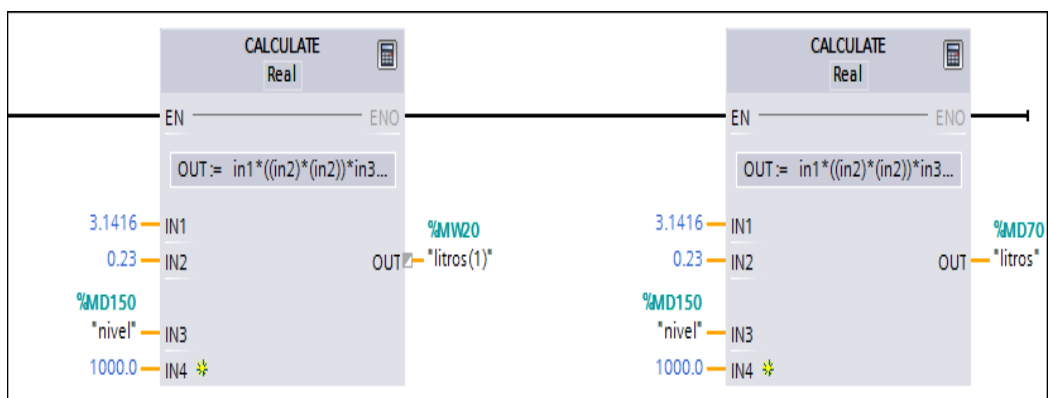


Figura 34: Conversión de nivel a Litros.

SEGMENTO 4: ESCALAMIENTO DEL SENSOR INFRARROJA A CM

La conversión de este sensor se realizó en el bloque de instrucción CALCULATE como se ilustra en la figura 35, fue necesario utilizar la fórmula de escalamiento que emplea Arduino; además de agregarle un retado a la lectura del sensor como un filtro.

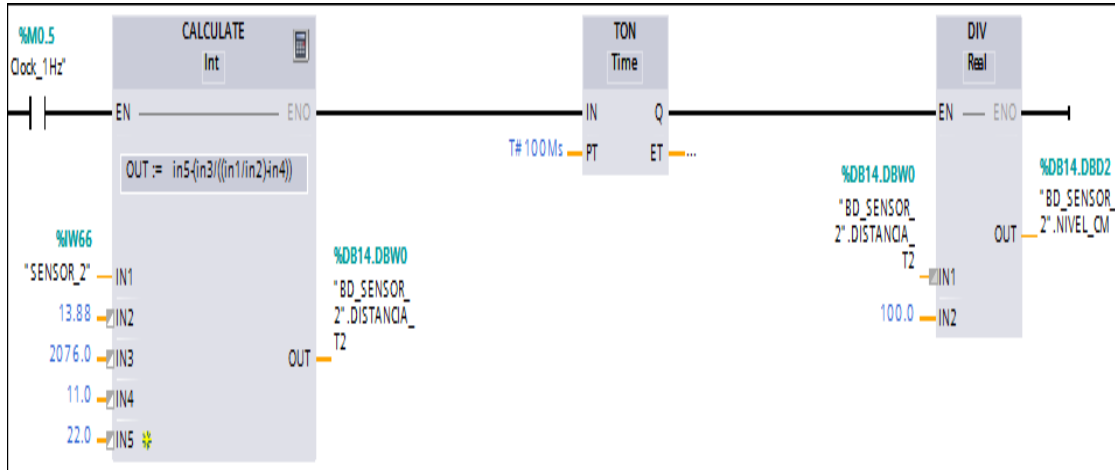


Figura 35: Escalamiento del sensor infrarrojo a cm

SEGMENTO 5: CONVERSION DEL SENSOR INFRARROJO DE CM A LITROS.

Para esta conversión se necesitó de la formula del volumen de prisma rectangular multiplicando ese valor por 1000 como se muestra en la figura 36.

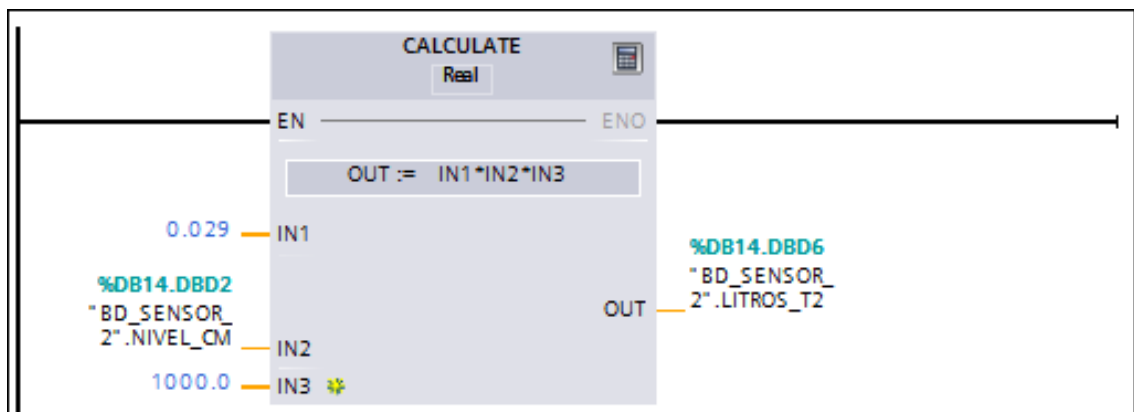


Figura 36: Conversión del sensor infrarrojo de cm a litros.

SEGMENTO 6: CÁLCULO PARA LA CANTIDAD DE LITROS DE DIÓXIDO DE CLORO

En este segmento se realizó una regla de tres en la instrucción CALCULATE, además de efectuar una resta entre el valor del nivel del taque de almacenamiento del dióxido de cloro y el valor obtenido del resultado de la regla de tres, con el fin de tener el valor del SET-POINT para el proceso 2. E la figura 37 se muestra las variables que fueron necesarias para el desarrollo del cálculo de la cantidad de litros deseado.

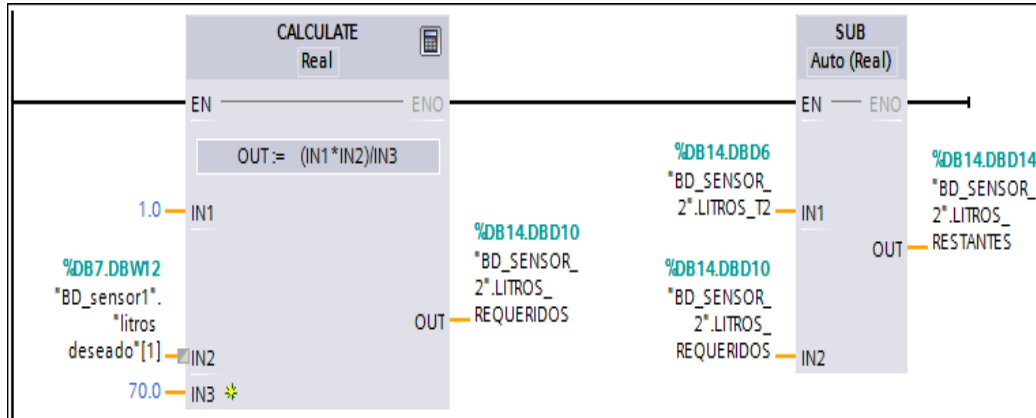


Figura 37: Cálculo para la cantidad de litros de dióxido de cloro.

4.1.3.2 SEGMENTOS DEL BLOQUE DE MENU.

Este es el bloque principal del programa en él se ejecuta los procesos principales, pero para la ejecución del sistema es necesario que se empiece con la parametrización de los variadores y las condiciones para iniciar el sistema. A continuación, en los segmentos del 1 al 3 se detalla lo anteriormente descrito, además de mostrar el listado de las variables del sistema y las bases de datos de los sensores en el anexo 1 y 2.

SEGMENTO 1: PARAMETRIZACION PARA LA COMUNICACION MODBUS MAESTRO/ESCLAVO ENTRE EL VARIADOR Y EL PLC.

Luego de conectar en red el PLC y el pc se procede con la configuración de los módulos de comunicación para enlazar el controlador con los variadores de frecuencia, esta comunicación se realiza a través del protocolo Modbus, agregando dos bloques de instrucción, bloque Commload y el bloque Master como se muestra en la figura 38. En la tabla 15 se detallan los parámetros de la instrucción MB_COMM_LOAD.

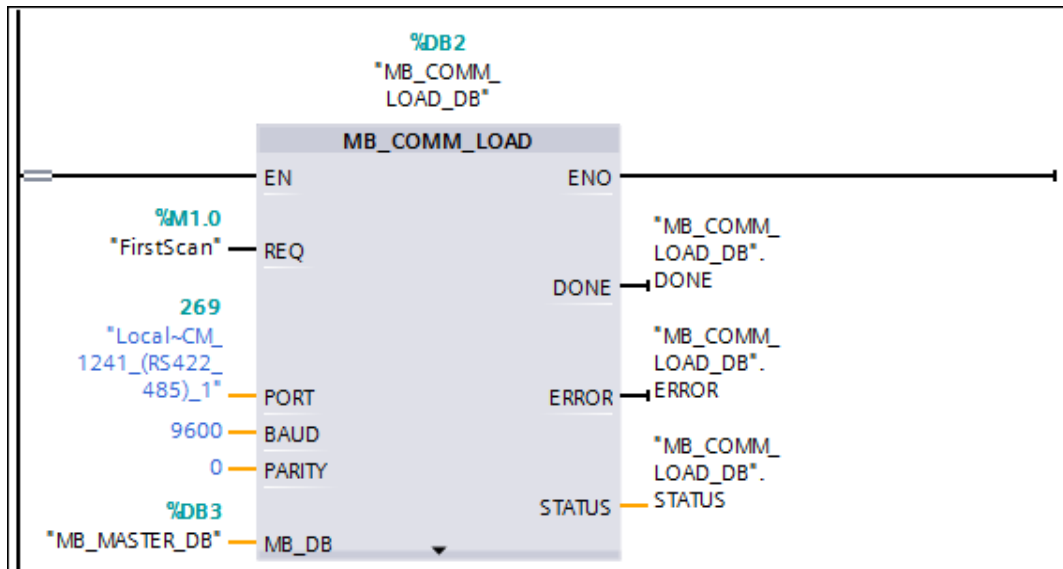


Figura 38: Parámetros de la instrucción MB_COMM_LOAD.

| PARAMETROS | VARIADOR | FUNCION |
|------------|--------------|-------------------------------|
| REQ | FirstScan | Reloj del bloque. |
| PORT | 269 | Puerto de comunicación. |
| BAUD | 9600 | Velocidad de transferencia. |
| PARITY | 0 | Paridad de datos. |
| DATA_DB | MB_MASTER_DB | Bloque de dato de referencia. |

Tabla 15: Parámetros de la instrucción MB_COMM_LOAD.

SEGMENTO 2: PARAMETRIZACION PARA LA COMUNICACION MODBUS ESCLAVO ENTRE EL VARIADOR Y EL PLC.

Mediante la configuración de los parámetros que se muestra en la tabla 16 de la instrucción MB_MASTER como se muestra en la figura 39, permitirá al programa comunicarse con un esclavo en este caso con el variador de frecuencia logrando la lectura y escritura de frecuencia hacia al variador.

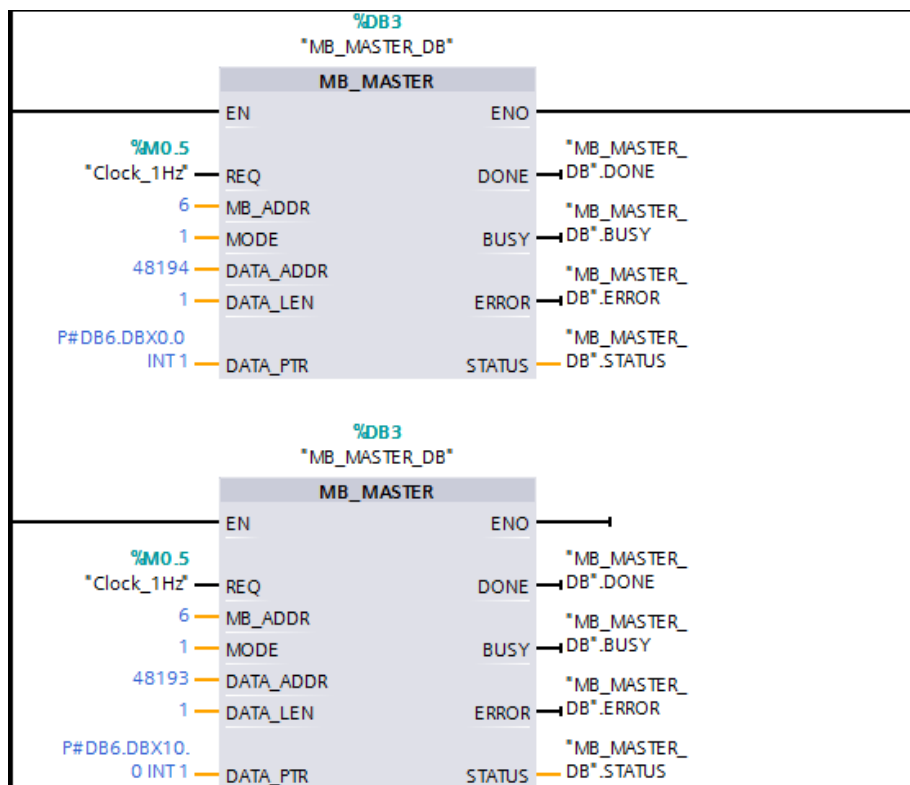


Figura 39: Parámetros de la instrucción MB_COMM_LOAD

| PARAMETROS | VARIADOR | FUNCION |
|------------|---------------|-------------------------------|
| REQ | AlwaysTrue | Función del bloque |
| MB_ADDR. | 6 | Id del variador |
| MODE | 1 | 0: lectura, 1: escritura |
| DATA_LEN | 48194 | Registro interno del variador |
| DATA_PTR | Base de datos | Bloque de dato secundario |

Tabla 16: Parámetros de la instrucción MB_MASTER.

En la tabla 17 se detalla las direcciones que se empleó en el bloque MB_MASTER para la lectura y escritura de frecuencia al variador, además de agregar otro comando para arranque o paro del variador de frecuencia.

| Descripción | Dirección | Función |
|-------------|-----------|---------|
|-------------|-----------|---------|

| | | |
|-----------------------|----------------------|--|
| Comando de escritura. | 2001H 8193 DEC | Bit 0-1 01B: Detener 10B: Operar |
| | 2002H 8194 DEC | Escritura de frecuencia. |
| Comando de lectura. | 2103H 8451 DEC | Lectura de frecuencia. |

Tabla 17: Lectura y escritura de frecuencia al variador.

SEGMENTO 3: NIVEL DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DEL DESINFECTANTE.

De este segmento depende el funcionamiento del sistema. El nivel del tanque de almacenamiento esta dado por estas dos entradas como se muestra en la figura 40, (I0.0) y (I0.4). Si el tanque de almacenamiento indica a través de las variables de memoria que el sistema se encuentra en nivel bajo M15.0 o nivel medio M17.0 pasa al segmento 4, si el nivel se encuentra en nivel alto M16.0 el primer proceso no inicia y espera hasta que se indique en nivel bajo.

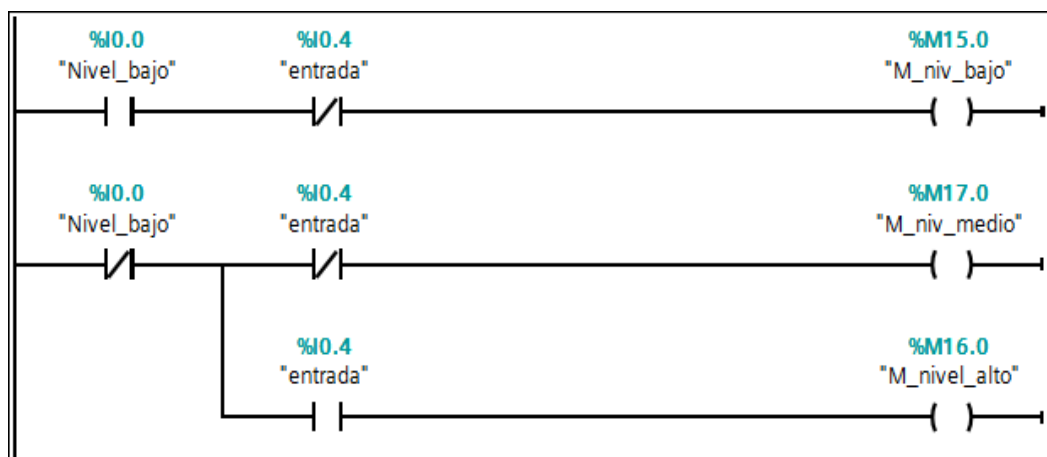


Figura 40: Entradas del tanque de almacenamiento del desinfectante

SEGMENTO 4: INICIO DEL SISTEMA.

En este segmento se realiza la programación para iniciar el sistema siempre y cuando los niveles del tanque de almacenamiento del desinfectante se encuentren en un nivel bajo o medio y se selecciona el botón START (M19.0) como se ilustra en la figura 40 activando un variable auxiliar (AUX_START) para el inicio de primer proceso del llenado del tanque de mezcla que se ilustra en la figura 43 del segmento 6.

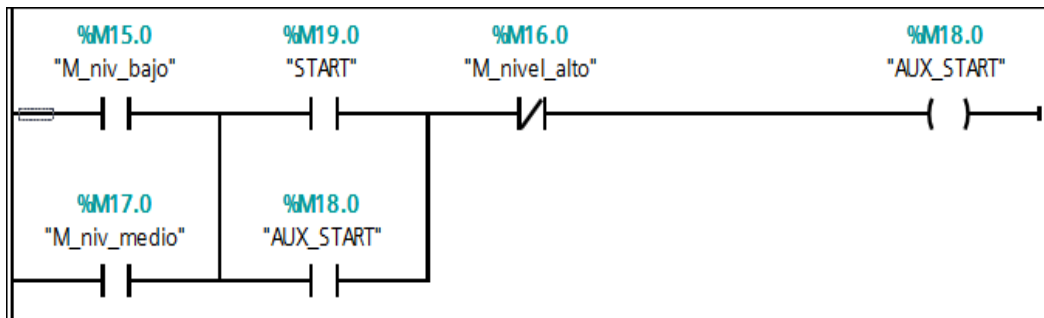


Figura 41: Segmento del inicio del sistema.

SEGMENTO 5: LLAMADA DEL BLOQUE DE FUNCION.

Dentro de este segmento se llama al bloque FC, este bloque contiene las conversiones de cm a litro, normalización de los sensores y operaciones matemáticas, además de mover la variable litros(1) a la base de datos del sensor ultrasónico como se muestra en la figura 42.

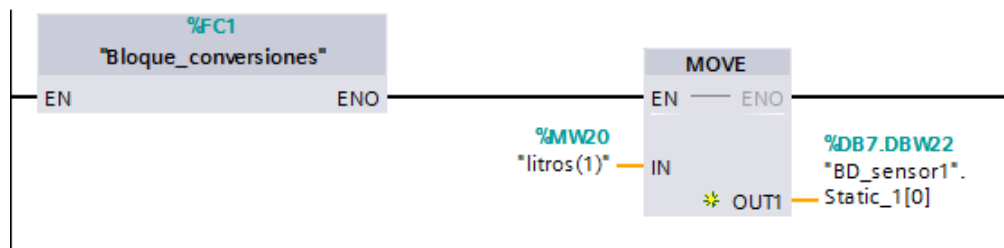


Figura 42: Segmento de llamada del bloque FC.

SEGMENTO 6: CONTROL ON/OFF PARA EL NIVEL DEL TANQUE DE MEZCLA

Para el control on/off del nivel del tanque de mezcla se utiliza una electroválvula que sirve para el paso del agua a una cantidad de litros deseados en la figura 43

muestra las variables utilizadas para este segmento empezando con las variables del nivel del tanque de mezcla seguido de la variable auxiliar Start del segmento 4 y las condiciones para la cantidad de litros deseado. Terminando este proceso con el accionamiento de la electroválvula “válvula_1” y una variable auxiliar (AUX_P2) para el proceso 2.

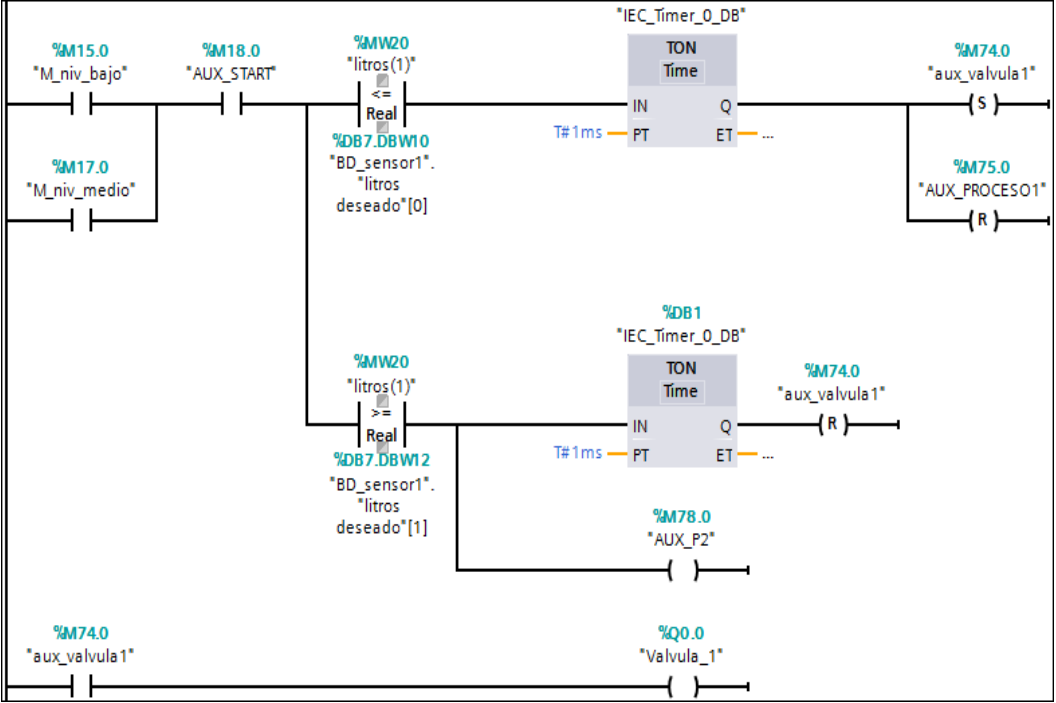


Figura 43: Segmento del Control On/Off para el nivel del tanque de mezcla.

SEGMENTO 7: DIRECCIONAMIENTO DE VARIABLE

Mientras las valvulvula_1 del segmento 6 se encuentre activada es necesario que el sensor infrarrojo tome lectura del nivel del taque de almacenamiento del dióxido de cloro para usarla como referencia y realizar la resta en el bloque FC obteniendo la cantidad de dióxido de cloro necesario para realizar la mezcla, en la figura 44 se observa el bloque MOVE y la variable BD_SENSOR_2.LITROS_RESTANTES que va se direccionada a una base de datos llamado “TANQUE2”.CANTIDAD_DIOXIDO_CLORO para realizar la resta.

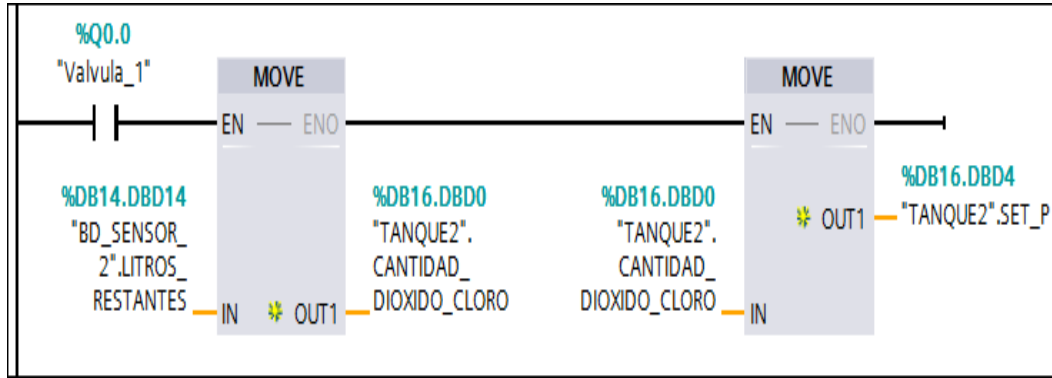


Figura 44: Direccionamiento de variable

SEGMENTO 8: PROCESO DE DOSIFICACIÓN

En este segmento es necesario sacar la cantidad exacta de dióxido de cloro que se necesite para realizar la mezcla, por lo tanto, inicia con la variable AUX_P2 activado del segmento 6 de la figura 43, esto quiere decir que se ha llegado a la cantidad de litros deseado y se ha obtenido el valor de referencia. Para el segundo proceso del sistema se inicializa con una regla de 3 obteniendo el valor deseado de litros de dióxido de cloro en el bloque FC, si este valor es mayor que la cantidad de litros que se encuentra en el tanque de almacenamiento del dióxido de cloro, el proceso 2 no continua, hasta que la cantidad de litros deseado sea menor que la cantidad de litros en el tanque del dióxido de cloro, Una vez que el tanque tenga la cantidad suficiente de litros para continuar con el proceso 2 se abre una electroválvula (Q0.1) valvula_2 que se muestra en la figura 45, hasta llegar a la cantidad de litros de dióxido de cloro deseado, luego de haber llegado al SETPOINT se activa una variable auxiliar (aux_mezclador) para el proceso 3 terminando el proceso 2.

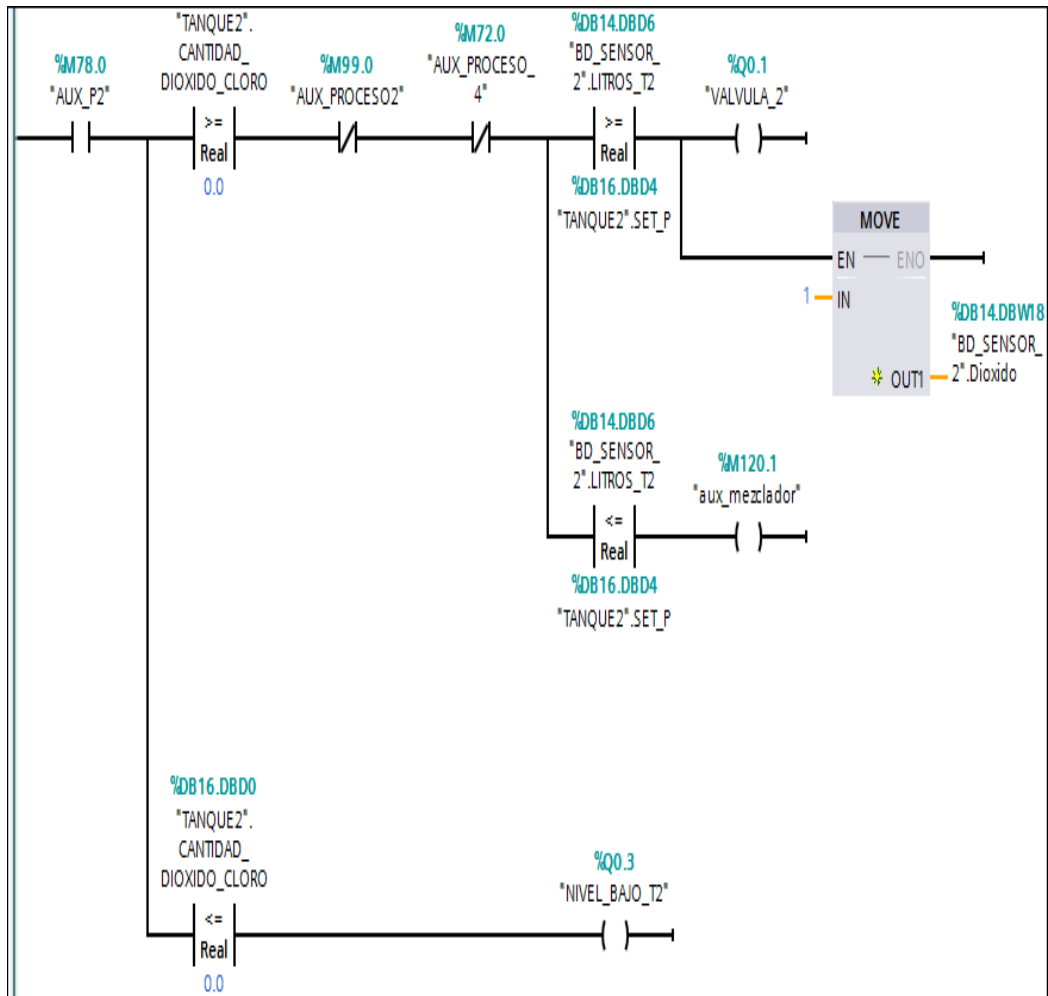


Figura 45: Segmento del Proceso de Dosificación.

SEGMENTO 9: NORMALIZACION Y ESCALAMIENTO DEL VALOR DE SALIDA DEL CONTROL PID PARA EL MOTOR TRIFASICO.

Por motivos de que el valor de salida del control PID oscila entre 0 a 100 % y el variador de frecuencia trabaja entre 0 a 60 Hz, es necesario escalar el valor de salida del control PID para la entrada del variador de frecuencia, el valor de 60 Hz es una frecuencia muy alta para realizar la mezcla, se estable a través de la observación que el valor máximo de entrada del variador sea de 5 Hz por la prevención de rebose de mezcla, en la figura 46 se observa la normalización y escalamiento del valor de salida del control PID.

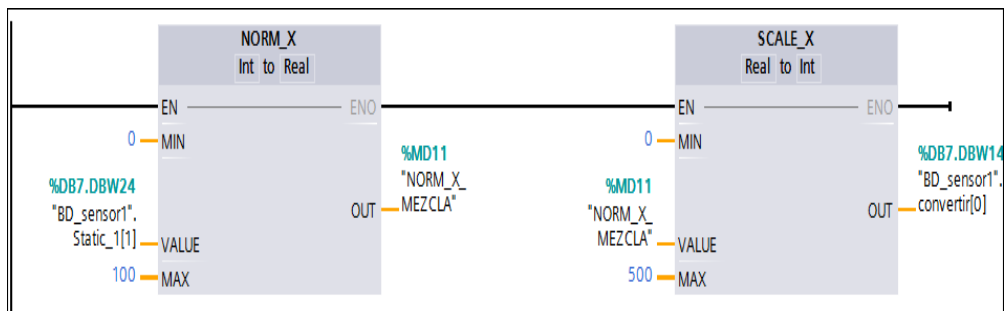


Figura 46: Segmento del escalamiento de la variable de salida del control PID.

SEGMENTO 10: PROCESO DE MEZCLA POR 1MIN.

Este proceso empieza gracias a la variable auxiliar (aux_mezclador) del segmento 9 activando el control PID para la frecuencia del variador durante 1 min, durante este lapso de tiempo la frecuencia que el control PID envía al registro 1 de la tabla 18 del variador es de 5 Hz, además de enviar un 2 al registro 5 de la tabla 18, para el arranque del variador como se muestra en la figura 47.

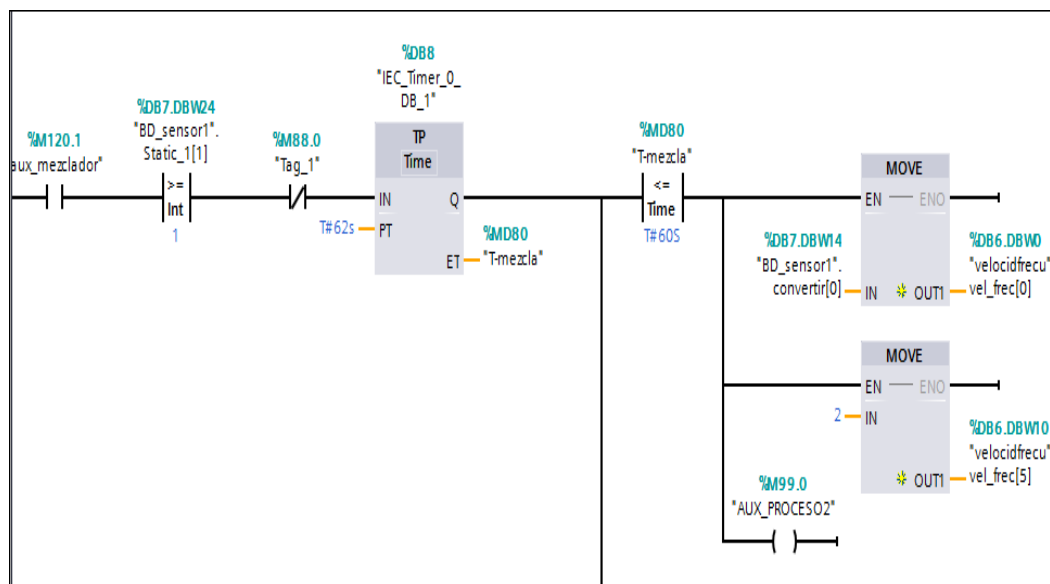


Figura 47: Variables del proceso de la Mezcla

Luego de terminar la mezcla por 1 minuto se detiene el motor y se activa una variable auxiliar (aux_on_bomba) para el siguiente proceso. En la figura 48 se muestra la variable auxiliar y el bloque que se empleó para el paro del variador. En la tabla 18 se detalla los registros que fueron utilizado para la lectura, escritura del variador almacenados en una base de datos.

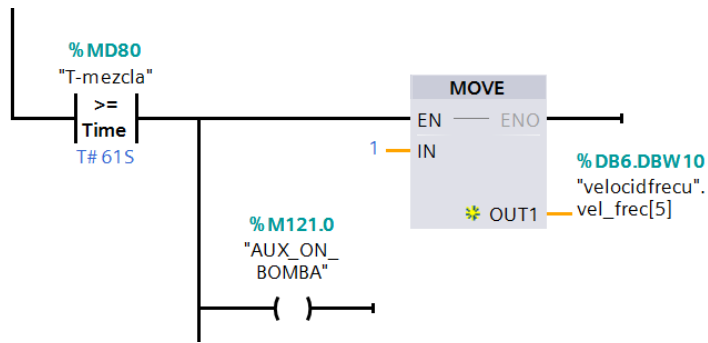


Figura 48: Variable auxiliar del segmento 10.

| Registro del variador de frecuencia | Descripción |
|-------------------------------------|------------------|
| Registro 0 | Lectura |
| Registro 1 | Escritura |
| Registro 5 | Paro o arranque. |

Tabla 18: Registro del Variador de frecuencia.

SEGMENTO 11: NORMALIZACION Y ESCALAMIENTO DE FRECUENCIA PARA LA BOMBA CENTRIFUGA.

Así como se normaliza y escala el valor de salida del PID del segmento 9, para el motor trifásico, es necesario que se realice lo mismo para el control de la bomba centrífuga, pero con valores distintos, el valor máximo a escalar es entre 0 a 50 Hz, siendo 0 Hz el valor mínimo y 50 Hz para el valor máximo. En la figura 49 se muestra el segmento del escalamiento.

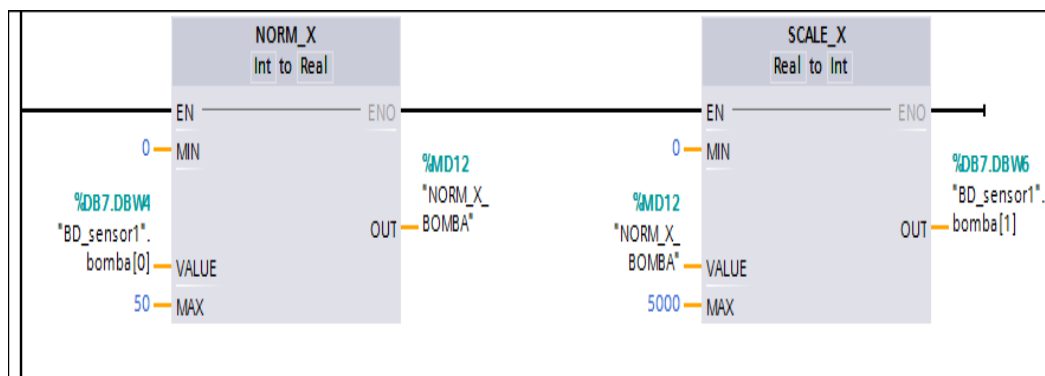


Figura 49: Segmento para normalización y escalamiento de frecuencia para la bomba centrífuga.

SEGMENTO 12: ACCIONAMIENTO DE LA BOMBA CENTRIFUGA.

La bomba centrífuga absorbe el desinfectante del tanque de mezcla y lo deposita en el tanque de almacenamiento del desinfectante, siempre y cuando éste se encuentre vacío, y este habilitado el contacto aux_tanque_deposito como el contacto AUX_PROCESO1 del segmento 6 de la figura 43. las variables que se utilizó para el accionamiento de la bomba centrífuga con una frecuencia de salida de 50 Hz. Se muestra en la figura 50.

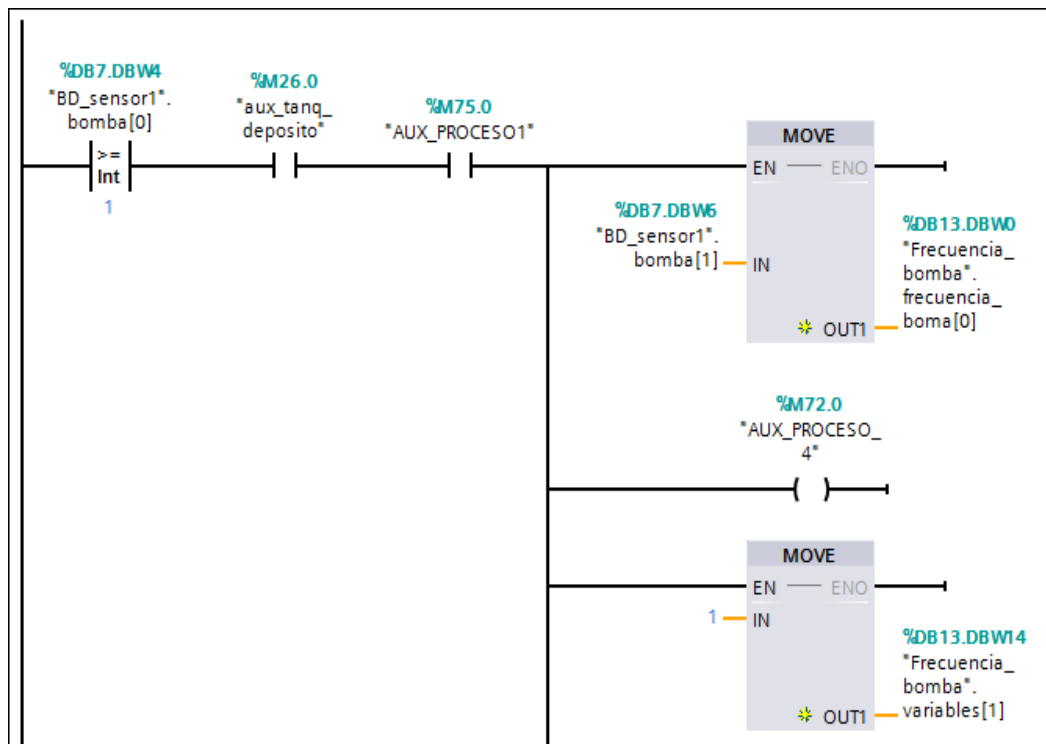


Figura 50: Segmento del control de la bomba centrífuga.

4.1.3.3 CONFIGURACIÓN DEL BLOQUE PID

Para ejecutar el control PID se utilizará el software TIA Portal v13 en el cual se agregarán bloques de organización, para el cual una vez seleccionado se despliegan varias opciones donde se escoge el bloque Cyclic interrupt y se da click en aceptar como se muestra en la figura 51.

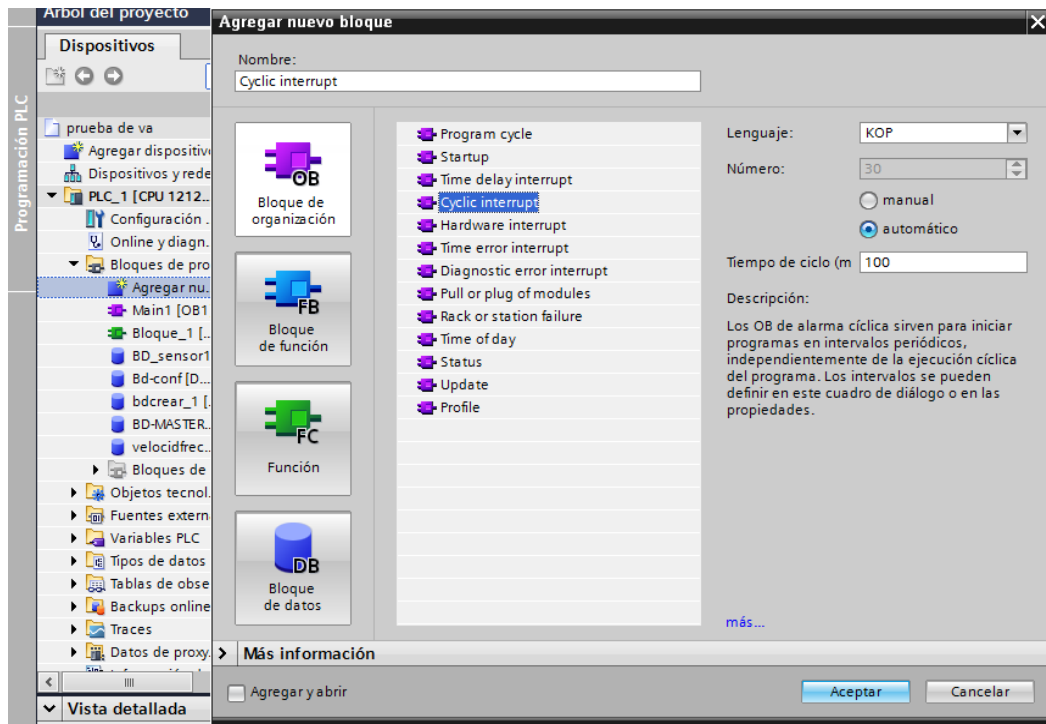


Figura 51: Elaboración del bloque Cyclic interrupt.

Luego de crear el bloque cyclic interrupt se selecciona la carpeta objetos tecnológicos ubicado en la sección Árbol del proyecto, donde se agrega un objeto como se muestra en la figura, por defecto se selecciona el cuadro PID Control, el mismo que despliega dos opciones, donde seleccionaremos el bloque PID_Compact creando el bloque PID como se muestra en la figura 52.

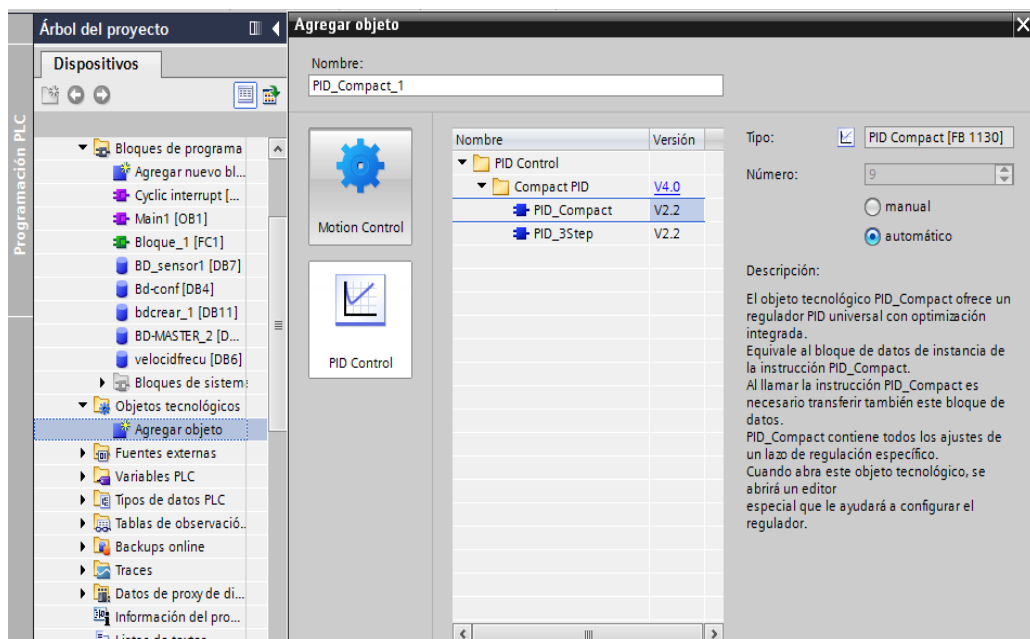


Figura 52: Bloque PID

Una vez creado el bloque PID se procede a realizar otro, donde uno de ellos fue empleado para el control del motor trifásico y el otro para el control de la bomba, luego de crear el bloque PID, se procede a llamar desde el bloque de Cyclic interrupt para su ejecución como se muestra en la figura 53, además de mostrar el valor del SETPOINT, el valor a controlar y el valor de salida de controlada.

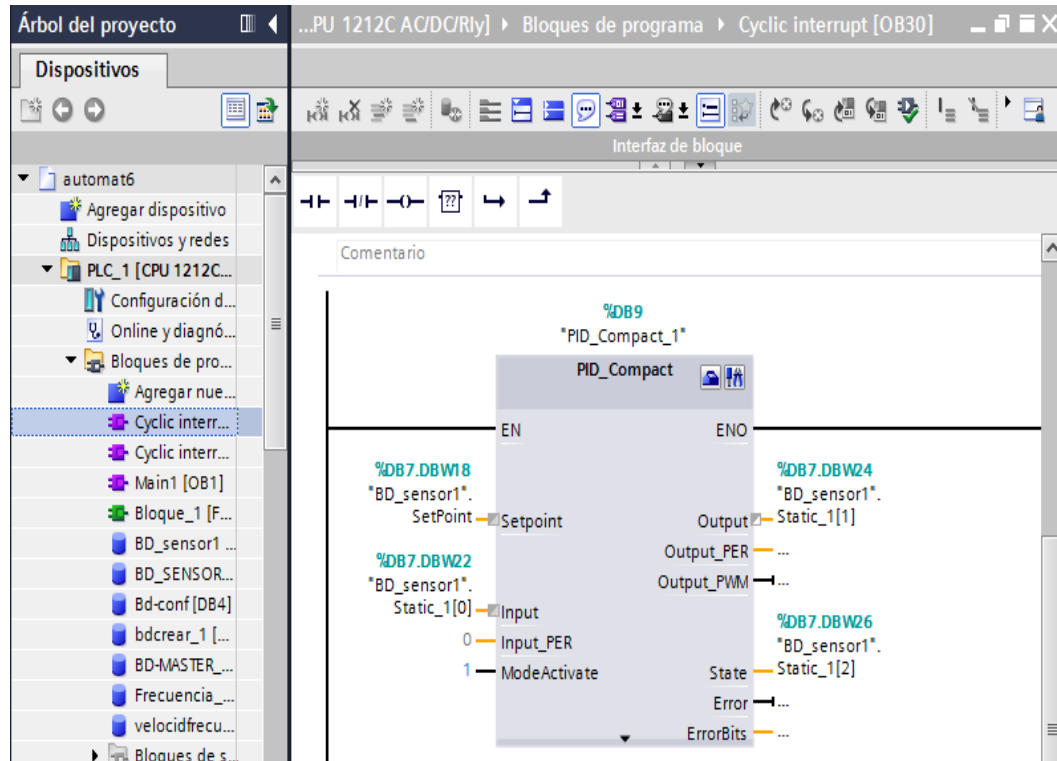


Figura 53: llamada del bloque PID al bloque Cyclic interrupt

En la tabla 19 se detallan las variables que emplea el bloque de instrucción PID_COMPACT, de la figura 52.

| Parámetro | Tipo de datos | Descripción |
|-------------|---------------|---|
| Setpoint | Real | Valor real a alcanzar |
| Input | Real | Entrada al PID utilizando una variable del programa |
| Input_PER | Real | Entrada al PID utilizando una entrada analógica |
| ScaledInput | Real | Variable de la salida escalado |
| Output | Real | Variable de la salida |

| | | |
|-----------------|------|---|
| Output_PER | Word | Salida analógica |
| Output_PWM | Bool | Valor de salida por ancho de pulso |
| SetpointLimit_H | Bool | Si el valor es “TRUE”, el setpoint habrá alcanzado su límite superior. |
| SetpointLimit_L | Bool | Si el valor es “TRUE”, el setpoint habrá alcanzado su límite inferior. |
| InputWarning_H | Bool | Si el valor es TRUE, la variable de proceso se encontrará por encima del valor límite superior. |
| InputWarning_L | Bool | Si el valor es TRUE, la variable de proceso se encontrará por encima del valor límite inferior. |
| State | Int | Modo de operación actual del controlador. |
| Error | Bool | Si el valor es TRUE, existe un mensaje de error en el ciclo de Scan. |

Tabla 19: Parámetros del bloque instrucción PID_COMPACT

AJUSTE DE LOS PARAMETROS DEL BLOQUE PID PARA EL CONTROL DEL MOTOR TRIFASICO.

En la figura 54 muestra los 3 tipos de ajuste para el control, empezando con el ajuste básicos (tipo de regulación), donde se escoge el modo de regulación que va a realizar el PID y el tipo de optimización que empleara al arrancar la CPU.

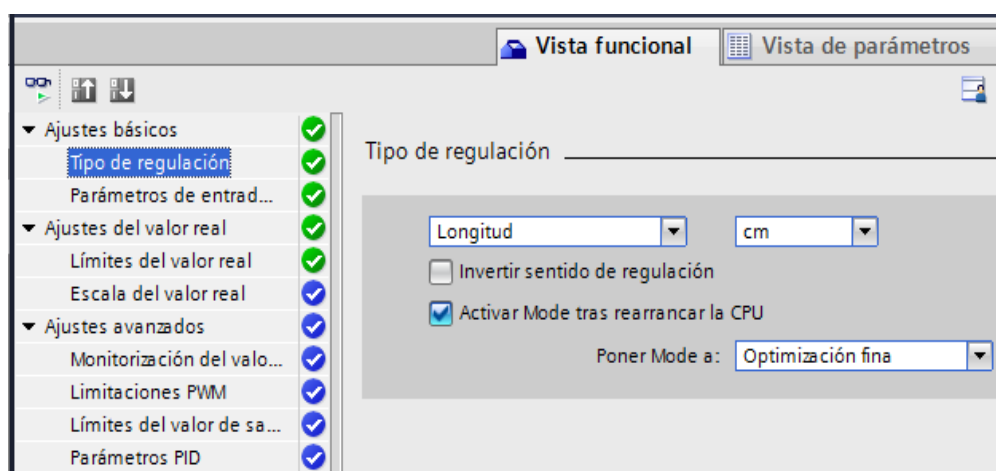


Figura 54: Selección del tipo de regulación para el motor trifásico.

En los ajustes básicos (Parámetros de E/S) se escogen los parámetros de entrada/salida de nivel tipo real, como se muestra a continuación:

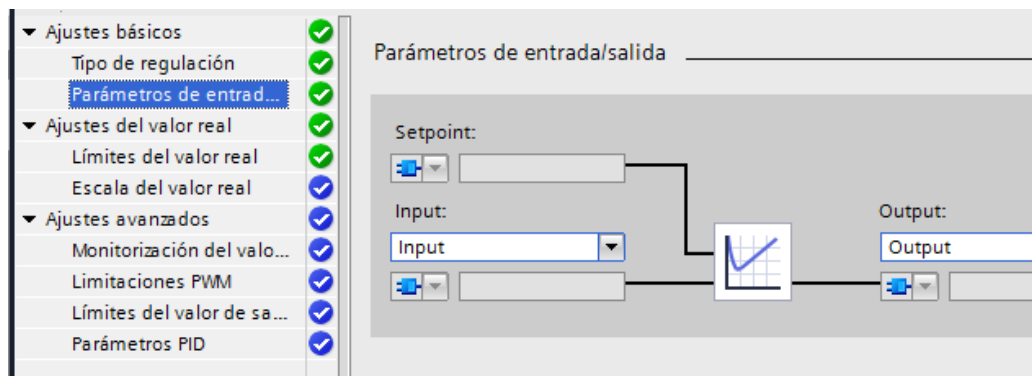


Figura 55: Parámetros de entrada/salida del PID

Luego se configura los ajustes del valor real, con el fin de limitar el nivel del tanque siendo 0 cm el nivel más bajo y 82 como el valor máximo del mismo como se ilustra en la imagen 56.

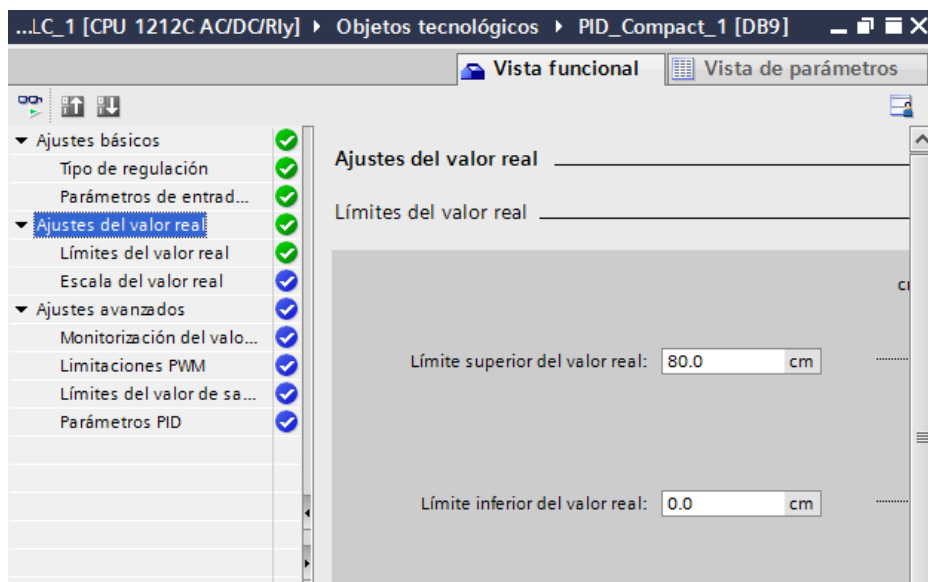


Figura 56: Ajustes del valor real

Por último, se configura los ajustes avanzados en donde se configura los parámetros de los valores PID como muestra la figura 57, se escogió este tipo de control PID porque permite mantener la variable controlada cerca al punto de consigna es decir

que la mezcla no se rebose logrando que el motor se estabilice a una frecuencia deseada. Estos valores son obtenidos a través de la optimización fina el mismo que calcula los valores automáticamente.

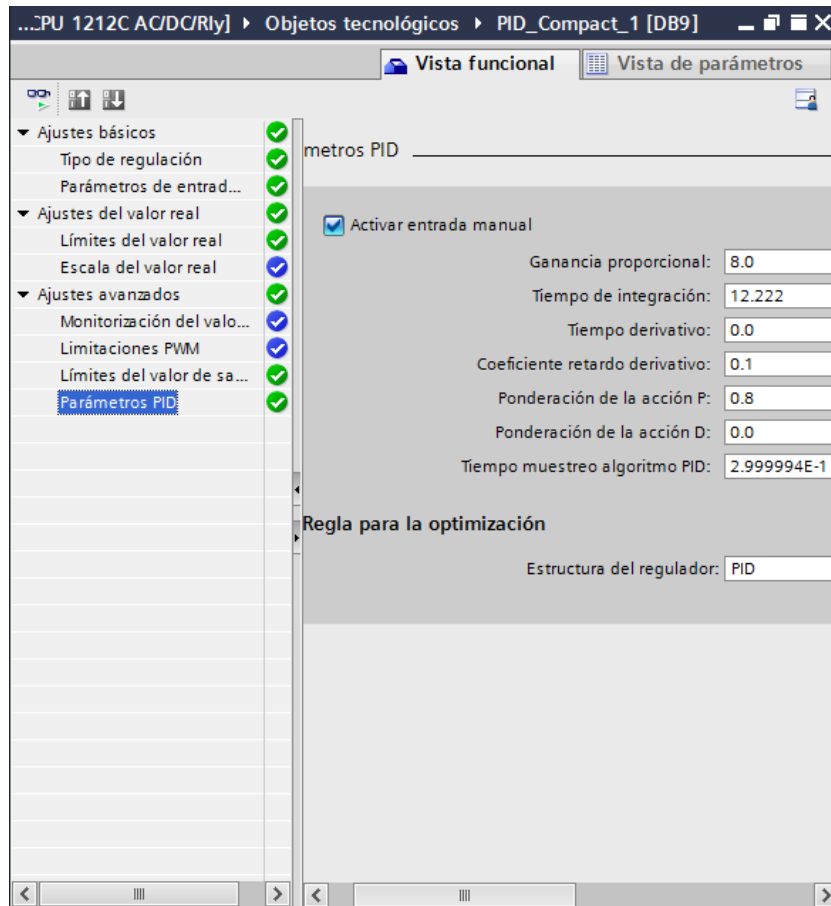


Figura 57: Ajustes de los valores P, I, D.

AJUSTE DE LOS PARAMETROS DEL BLOQUE PID PARA EL CONTROL DE LA BOMBA CENTRIFUGA.

Para el correcto funcionamiento de la bomba fue necesario crear este tipo de control PID, el mismo que regula el valor de frecuencia para llegar al punto de referencia. En la figura 58 se selecciona el tipo de control a utilizar, además de invertir el sentido de regulación y activar el modo de operación fina.

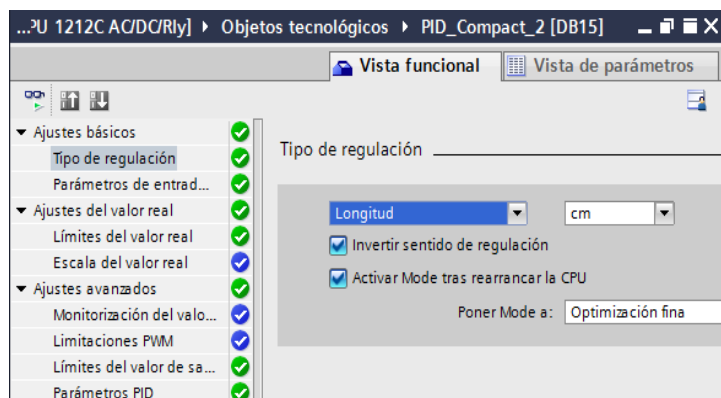


Figura 58: Selección del tipo de regulación para la bomba centrífuga.

En la figura 59 se establece el rango de trabajo para nuestro control de la bomba centrífuga, donde el valor del límite inferior es 1 cm y 85 cm para el límite superior.

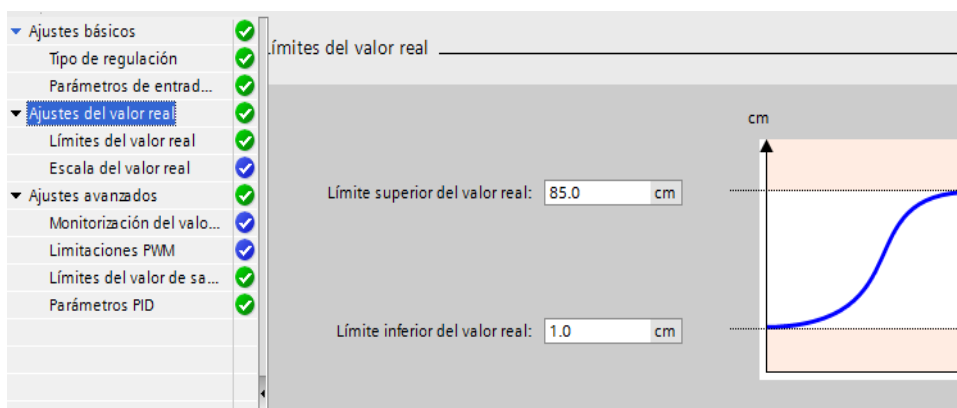


Figura 59: Rango de trabajo del control PID de la bomba centrífuga.

En los parámetros de ajuste avanzado se establece el valor máximo y mínimo del valor de salida, en la figura 60 se establece el valor de 50% como el valor máximo y 0 como el valor mínimo de salida para la bomba centrífuga.

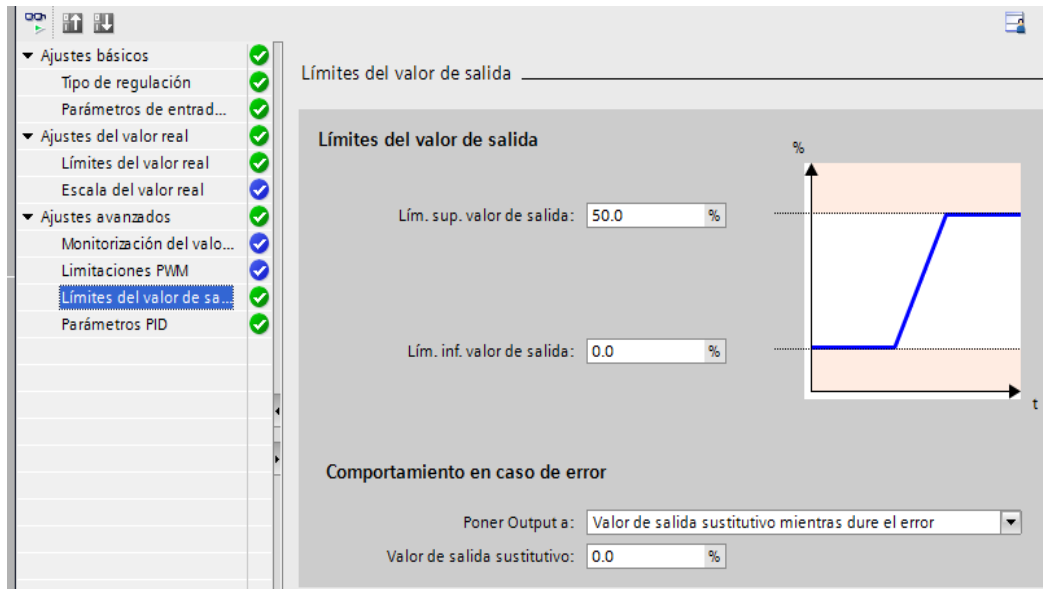


Figura 60: Límite máximo y mínimo del valor de salida para la frecuencia de la bomba centrífuga

En la figura 61 muestra el valor proporcional, integral, derivativo y el tiempo de muestreo del control de la bomba centrífuga, estos valores se obtuvieron automáticamente gracias a la optimización fina.

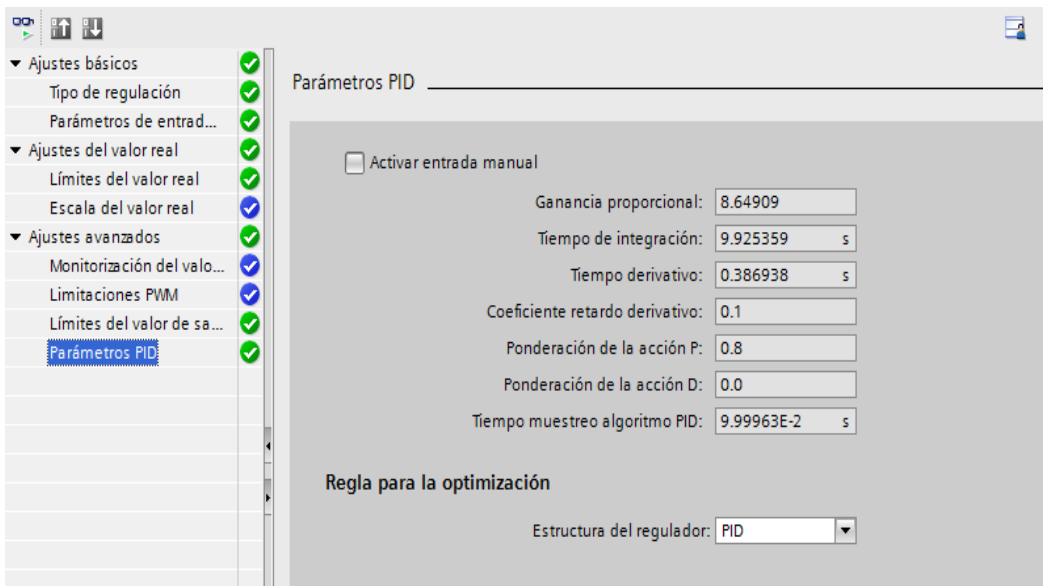


Figura 61: Valores de los parámetros PID para el control de la bomba centrífuga.

4.1.4 CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA.

El variador de frecuencia consta de 11 grupos de parámetros para su funcionamiento en el cual se necesita de 3 grupos para establecer comunicación entre el PLC y el variador de frecuencia, a continuación, se detalla los grupos que se empleó.

Grupo 0: PARÁMETROS DEL USUARIO.

En este grupo se escoge la frecuencia máxima de trabajo donde se puede elegir entre 50 a 60 Hz colocando en la pantalla digital del variador los valores 02,00,9 para la frecuencia de 50 Hz y 02,00,10 para 60 Hz.

Grupo 2: PARÁMETROS DEL MÉTODO DE OPERACIÓN.

En el grupo 2 se configura el medio por el cual va ser controlado el variador de frecuencia, para la comunicación del PLC y el variador se digita los valores 02,00,3 para la comunicación por RS-485 (RJ-45), además de digitar el valor 02,00,4 para DETENER/REINICIALIZAR la deshabilitación del teclado

Grupo 9: PARAMETROS DE COMUNICACIÓN.

Mediante este grupo se establece la dirección de comunicación, la velocidad de transmisión y el protocolo de comunicación como se observa en la tabla 20.

| Grupo 0: PARÁMETROS DEL USUARIO. | | | |
|--|------------------------|---|------------------|
| Parámetro | Explicación | Configuración | Conf. De fabrica |
| 00,02 | Reinicio de parámetros | 9: Todos los parámetros son reestablecido a sus valores de fabrica (50 Hz) 10: Todos los parámetros son reestablecido a sus valores de fabrica (60 Hz) | 0 |
| Grupo 2: PARÁMETROS DEL MÉTODO DE OPERACIÓN. | | | |

| | | | |
|--------------------------------------|---|---|---|
| 02,00 | Fuente del primer comando de frecuencia maestra | 3: Comunicación RS-485 (RJ-45) 4: Potenciómetro del teclado digital | 1 |
| 02,01 | Fuente del primer comando de operación | 3: Comunicación RS-485 (RJ-45). DETENER/REINICIALIZAR del teclado habilitados. 4: Comunicación RS-485 (RJ-45). DETENER/REINICIALIZAR del teclado deshabilitados. | 1 |
| Grupo 9: PARAMETROS DE COMUNICACIÓN. | | | |
| 09,00 | Dirección de comunicación | 1 a 254 | 1 |
| 09,01 | Velocidad de transmisión | 1: Tasa de baudios 9600 bps | 1 |
| 09,04 | Protocolo de comunicación | 6: 8, N, 1 (Modbus, RTU) | 1 |

Tabla 20: Parámetros de configuración del Variador de Frecuencia

Se utiliza el cable UTP como medio de comunicación entre el módulo CM 1241 RS422/485 y el variador de frecuencia, debido a que estos equipos tienen puertos de entradas distintas es necesario la modificación de este cable conectando en un extremo el conector RJ45 para el variador de frecuencia y para el otro extremo el conector DB9 como se muestra en la figura 62. Las conexiones de los pines entre el variador de frecuencia y el módulo CM 1241 RS422/485 se detallan en la tabla 21.

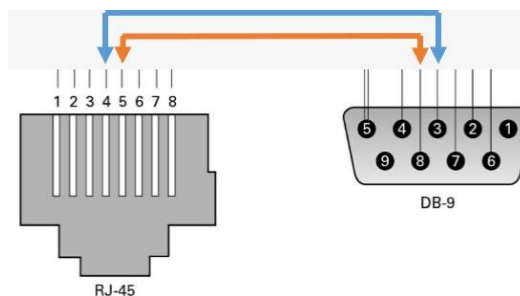


Figura 62: Conexión para la comunicación MODBUS.

| | |
|----------------|--------------|
| Conector RJ-45 | Conector DB9 |
| Pin 5(+) | PIN 8(+) |
| Pin 4(-) | PIN 3(-) |

Tabla 21: Configuración de pines del Variador de frecuencia y el módulo CM 1241 RS422/485

4.1.5 CREACIÓN DEL DISEÑO DE LOS ELEMENTOS VIRTUALES EN EL SOFTWARE DOPSOTF

Para la creación del proyecto en el programa dopsotf se empieza con la configuración del mismo donde se escoge el tipo de HMI, puerto de conexión para la comunicación y tipo de controlador. El tipo de modelo de la pantalla HMI que empleara el proyecto de titulación es B03E211 CON RESOLUCION DE 480 * 272. Como se muestra en la figura 63.

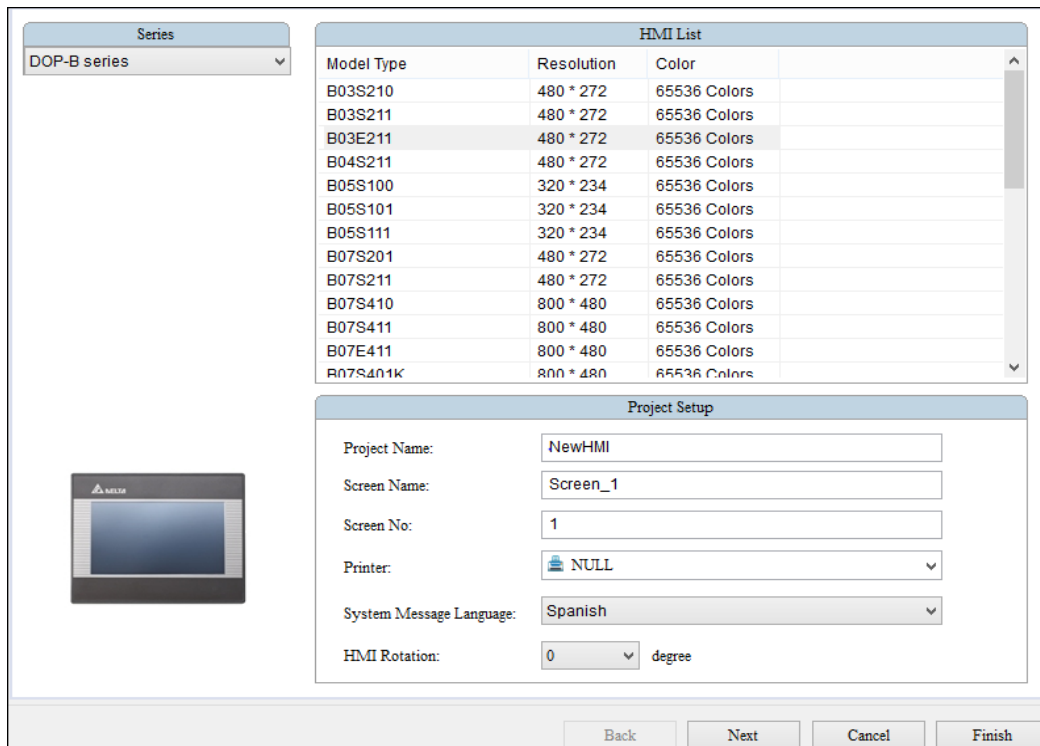


Figura 63: Selección del modelo de la pantalla HMI.

Una vez escogido el tipo de HMI se despliega 3 opciones donde se tiene que desmarcar la conexión COM1 que sale por default y se escoge el puerto de

comunicación ethernet el cual al ser seleccionado muestra dos opciones: Device y localhost.

La opción Device sirve para seleccionar el tipo de controlador a utilizar, nuestro proyecto utilizara el controlador S7 1200 (ISO TCP) de marca SIEMENS como muestra en la figura 64.

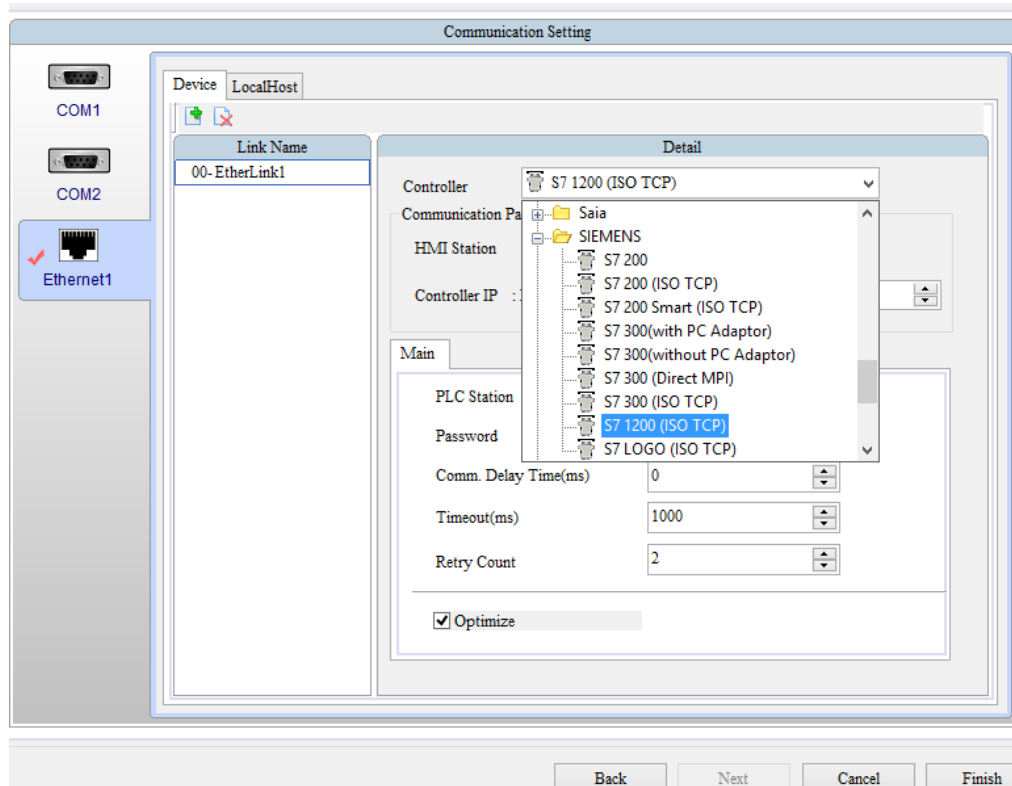


Figura 64: Selección del controlador en la pantalla HMI.

Ya seleccionado el tipo de controlador se procede a configurar las demás opciones como: IP del controlador, contraseña, número de Station y el tiempo de ejecución como se muestra en la figura 65, en este caso se escoge la estación 1, la IP del controlador es 192.168.0.30, teniendo en cuenta que esta dirección tiene que estar en la misma red con el HMI.

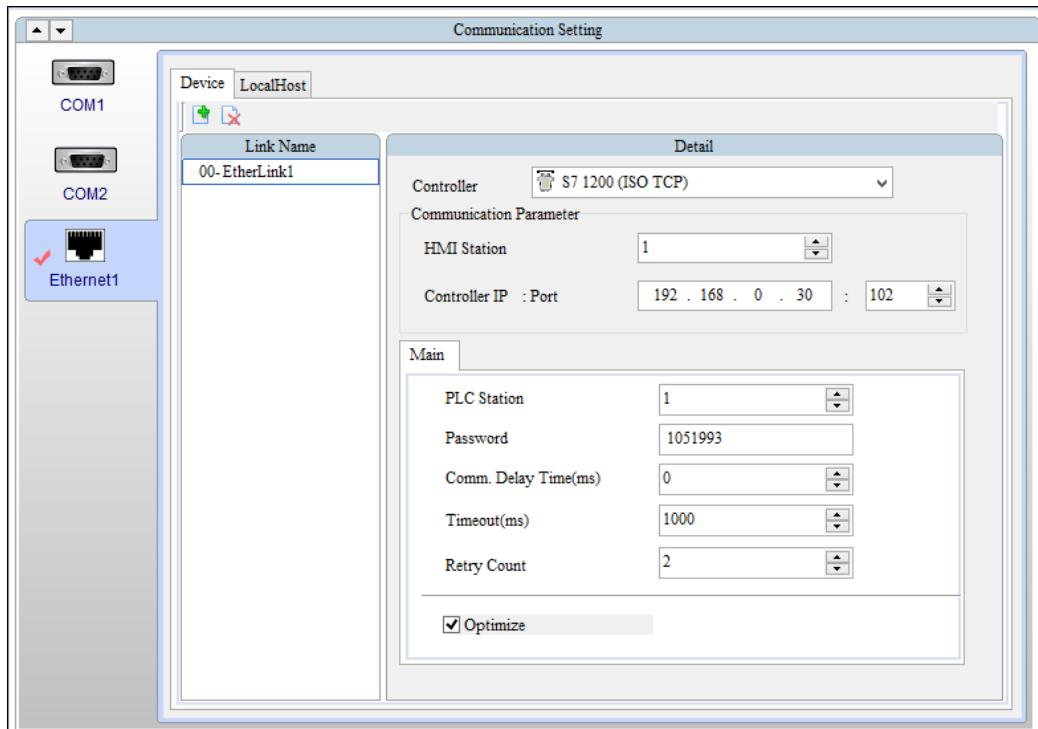


Figura 65: Configuración de los parámetros para la comunicación entre el PLC y el HMI

Para terminar con los ajustes de comunicación y empezar con el nuevo proyecto, se procede a cambiar los valores del LocalHost como se muestra en la figura 66

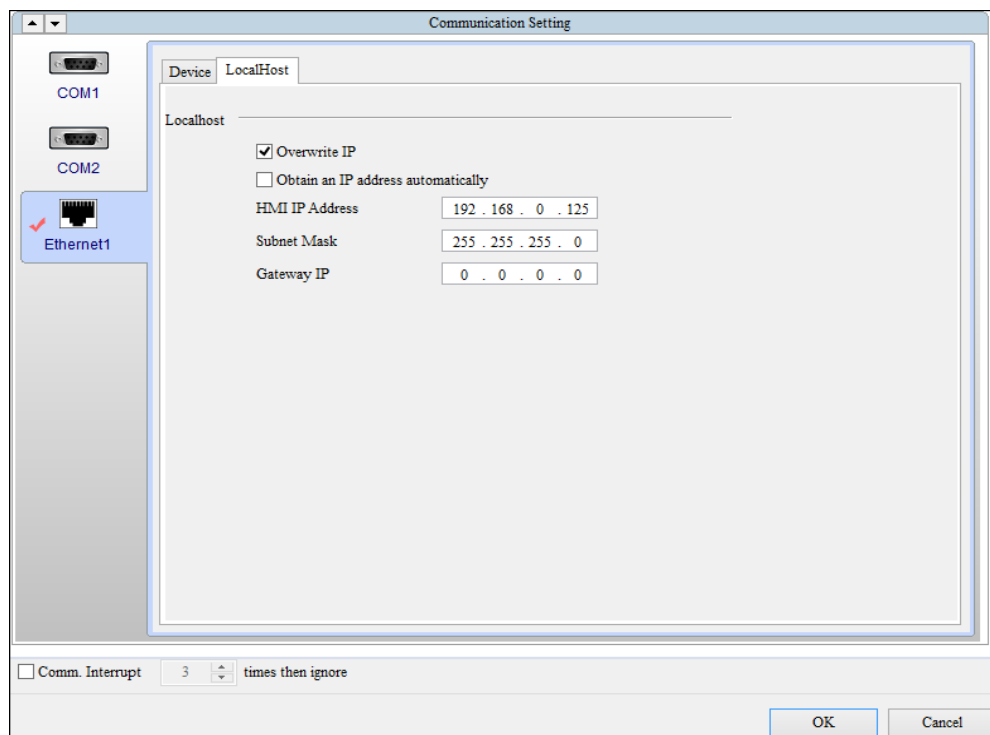


Figura 66: Configuración del IP para el HMI

Diseño de la portada del sistema.

En la figura 67 se ilustra la pantalla principal donde muestra la caratula del sistema, el mismo cuenta con cuatros procesos que se detallara a continuación.



Figura 67: Pantalla principal del proyecto

Diseño de la pantalla “control del nivel del tanque de mezcla” y su alarma

En la pantalla de la figura 68, muestra el proceso del control de nivel, para iniciar su funcionamiento se necesita de 3 condiciones importante:

- 1.- El tanque de almacenamiento del desinfectante tiene que estar en un nivel bajo o nivel medio, esto se observara a través de los indicadores colócalo en la pantalla de este proceso
- 2.- El tanque donde se realiza la mezcla tiene que estar en un nivel de 0 cm es decir sin agua.

3.- Por último, se digita la cantidad de litros de desinfectante deseado y se selecciona el botón START que aparece en la pantalla HMI.

Dentro de esta pantalla para el control de nivel encontramos tres indicadores para el tanque de almacenamiento del desinfectante señalando el nivel bajo, medio y alto, además se visualiza un tanque reservorio configurado para un nivel máximo de 80 litros, un indicador como alarma del rebose del nivel. y dos pulsadores, el cual uno inicia el sistema y el otro realiza un paro de emergencia.



Figura 68: Interfaz del control de nivel del tanque de mezcla.

Diseño de la pantalla “Proceso de Dosificación” y su alarma

Una vez terminado con el proceso del control del nivel se continua con el siguiente proceso donde se realiza la dosificación. En la figura 69 se detalla los componentes virtuales del proceso donde se ilustra un indicador como alarma para el nivel bajo del tanque de la sustancia, un pulsador de paro de emergencia, dos tanques, donde el más grande contiene el agua y el pequeño el dióxido de cloro. En el tanque pequeño se realiza el proceso de la dosificación dependiendo de la cantidad de dióxido de cloro se mantiene accionada la electroválvula hasta llegar al Setpoint donde la misma se cierra.

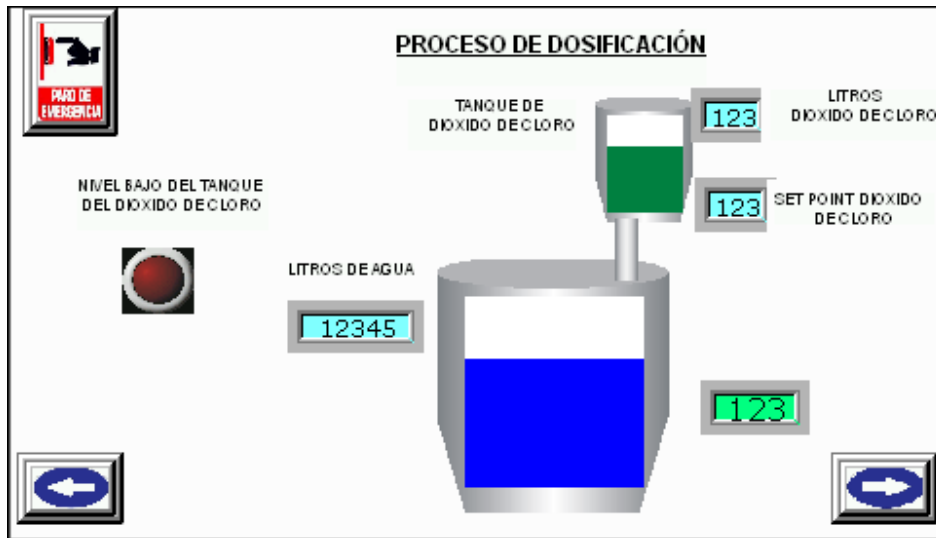


Figura 69: Interfaz del proceso para la dosificación del dióxido de cloro

Diseño de la pantalla “Control de Mezcla por PID” y su alarma

En la figura 70 muestra el interfaz que utiliza el proceso de la mezcla durante 1 minuto, en el lapso de ese tiempo el motor trifásico es controlado por PID empezando con una frecuencia máxima de 5hz para prevenir el rebose de la mezcla siempre y cuando el sensor ultrasónico detecta que el nivel de entrada es menor al SETPOINT, si el sensor detecta que sobrepasa el nivel deseado, el control PID baja el valor de frecuencia hasta estabilizarlo en el valor deseado, además de mostrar una alarma de rebose del agua y un pulsador de emergencia.

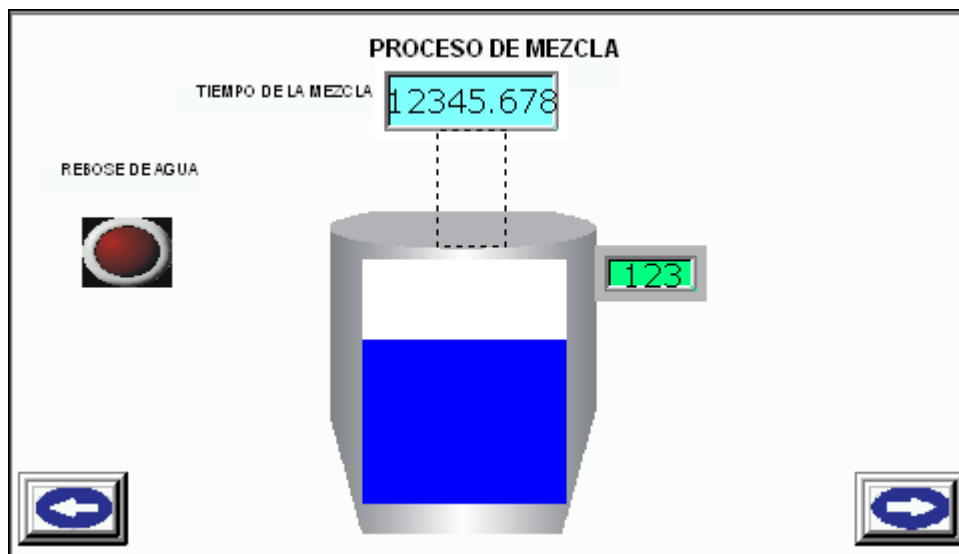


Figura 70: Interfaz del proceso de la mezcla.

Diseño de la pantalla “Control de la Bomba Centrífuga por PID”

Por último, se realiza el control PID de la bomba centrífuga el cual se encarga en trasladar el desinfectante a un tanque de almacenamiento con una frecuencia de salida de 50 Hz como se ilustra en la figura 71, en esta pantalla se observa un pulsador de emergencia, indicadores digitales numéricos, dos indicadores para el nivel del tanque de almacenamiento donde el indicador nivel alto es la alarma del proceso y los demás procesos anteriores.

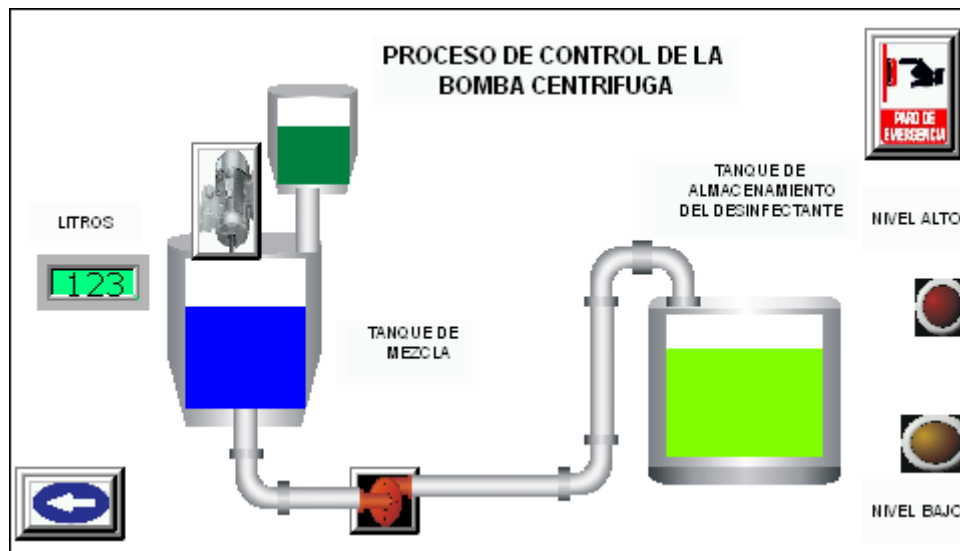


Figura 71: Interfaz del proceso del control de la bomba centrífuga

4.1.6 FACTIBILIDAD DEL PROYECTO.

4.1.6.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA

Controladores lógicos programables.

El uso de un PLC para el control de los distintos procesos de una planta lo hacen factible para la implementación de nuestra propuesta debido a sus dimensiones, fácil lenguaje de programación y las entradas y salidas que puede gestionar.

Existen varios marcas y modelos de controladores por el cual se realizó una investigación de las características técnicas de 3 tipos de PLC detallado en la tabla 22. También hay que tener en cuenta el tipo de software que utilicen para la programación de estos 3 PLC

| PLC FESTO – FEC | PLC KOYO | PLC 1200 AC/DC/RELÉ |
|-----------------------------------|---|---|
| Alimentación: 110 VAC | Alimentación:110_225 VAC | Alimentación: 85 a 264 |
| 12 entradas | 5 entrada digitales | Salidas digitales: 6 RELÉ |
| Posee dos puertos ethernet | Dos puertos de comunicación: Ethernet y MODBUS | Tipo de comunicación Ethernet |
| Velocidad de ejecución de 32 bits | Soporta comunicación en red por Modbus maestro esclavo. | Transferencia de comunicación |
| Posee reloj en tiempo real | Posee reloj y calendario en tiempo real. | Precisión del reloj en tiempo real de 60 segundos |
| Contadores rápidos de 2 KHZ | Transferencia de datos de 10 a 100 Mb/s | Transferencia de datos de 10 a 100 Mb/s |
| Configuración PNP y NPN | No necesita baterías adicionales | Velocidad de ejecución de transferencia de palabra de 12 us/instrucción |

Tabla 22: Características técnicas de los 3 tipos de PLC

Implementación de los tanques en acero inoxidable.

Existen varias empresas industriales que elaboran tanques de acero inoxidable basado en normas y sin ajuste adicionales, por tal motivo se elige por mandar a elaborar los tanques, debido a que cada tanque realiza una función distinta, además de tener su propio diseño ajustando a las dimensiones que posee el laboratorio de automatización.

El tanque donde se realiza la mezcla se diseñó para:

Ubicación del sensor ultrasónico.

Base de acople para el motor trifásico.

Acople de 1/2" para las electroválvulas.

El tanque de almacenamiento de la mezcla se diseñó para:

Ubicación de los 2 flotadores.

Acople de una rosca de 1/2” en la parte de la tapa de acero inoxidable para las tuberías.

El diseño del tanque de almacenamiento de dióxido de cloro se realizó para:

Colocar un sensor infrarrojo

Diseño en forma de embudo para la canalización del dióxido de cloro

Acople de una rosca de 1/2” en la base del tanque para una electroválvula.

4.1.6.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DE PRECIOS DE EQUIPOS.

Los componentes escogidos para la implementación del sistema se realizaron de acuerdo a los beneficios y seguridad que ofrece cada elemento realizando cotizaciones en varias empresas, buscando la factibilidad para el desarrollo del sistema.

4.1.6.2.1 PRESUPUESTO DE LOS EQUIPOS A IMPLEMENTAR

A continuación, se detalla el costo de los equipos escogidos para el desarrollo del sistema en la tabla 23.

| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | VALOR TOTAL |
|-------------------------------------|----------|-----------------|-------------|
| Tanque de acero inoxidable de 85 l | 1 | \$ 350.00 | \$ 350 |
| Tanque de acero inoxidable de 120 l | 1 | \$ 390 | \$ 390 |
| Tanque de acero inoxidable de 8 l | 1 | \$ 30 | \$ 30 |
| Agitador de acero inoxidable | 1 | \$ 80 | \$ 80 |
| Diseño de placas | 2 | \$ 5 | \$ 10 |
| Sensor Sharp (4-30 cm) | 1 | \$ 17.50 | \$ 17.50 |
| Sensor infrarrojo | 1 | \$ 265 | \$ 265 |
| Conector hembra V1-G-5M-PVC | 1 | \$ 25 | \$ 25 |
| Electroválvula solenoide | 2 | \$ 50 | \$ 100 |
| Sensor Flotador de acero inoxidable | 2 | \$ 15 | \$ 30 |
| Motor trifásico siemens 1 hp | 1 | \$ 150 | \$ 150 |
| Breaker siemens 3p 20 amp | 1 | \$ 7 | \$ 7 |
| Tubos 1/2” pvc | 1 | \$ 3 | \$ 3 |
| Conectores universales pvc | 2 | \$ 1.50 | \$ 3 |

| | | | |
|-------------------|------------|-------|-------|
| Reductores ½” pvc | 3 | \$ 1 | \$ 3 |
| GASTOS VARIOS | 1 | \$ 50 | \$ 50 |
| GASTO TOTAL | \$ 2013.50 | | |

Tabla 23: Presupuesto de equipos implementados.

COTIZACIÓN DE ELEMENTOS Y EQUIPOS SIMILARES

La lista de precio de la tabla 24 se obtuvo a través de las cotizaciones realizadas en empresas reconocidas ofreciendo las mismas características de los equipos implementados, pero con un valor más alto. A continuación, se detalla el precio de los mismos equipos de la tabla 22 en empresas reconocidas

| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | VALOR TOTAL |
|--|----------|-----------------|-------------|
| Tanque de acero inoxidable de 85 l | 1 | \$ 500.00 | \$ 500 |
| Tanque de acero inoxidable de 120 l | 1 | \$ 600.00 | \$ 390 |
| Tanque de acero inoxidable de 8 l | 1 | \$ 50 | \$ 50 |
| Agitador de acero inoxidable | 1 | \$ 150 | \$ 150 |
| Diseño de placas (módulos de comunicación) | 1 | \$ 265 | \$ 265 |
| Sensor de Nivel (1-30 cm) | 1 | \$ 255. | \$ 255 |
| Sensor de Nivel (0 – 80 cm) | 1 | \$ 300 | \$ 300 |
| Conector hembra V1-G-5M-PVC | 1 | \$ 30 | \$ 30 |
| Electroválvulas regulables | 2 | \$ 150 | \$ 300 |
| Sensor Flotador de acero inoxidable | 2 | \$ 20 | \$ 40 |
| Motor trifásico siemens 1 hp | 1 | \$ 200 | \$ 200 |
| Breaker siemens 3p 20 amp | 1 | \$ 10 | \$ 10 |
| Tubos ½” y materiales pvc | 1 | \$ 50 | \$ 50 |
| GASTO TOTAL | \$2750 | | |

Tabla 24: Cotizaciones de equipos similares.

Con el análisis realizado a las cotizaciones que se llevó a cabo a las distintas empresas se pudo optar por la compra de los elementos de bajo costo ofreciendo las misma característica y marca del componente, con el fin de que la implementación del sistema de la preparación del desinfectante sea factible.

CAPÍTULO V

5.1 PRUEBAS

Para el correcto funcionamiento del sistema se realizó diferentes pruebas en cada equipo, se calibraron los dos sensores para obtener el nivel y el volumen de los dos tanques principales y comparar el valor medido con el de referencia. Se obtuvieron los parámetros PID de la frecuencia del motor trifásico y la bomba centrífuga, concluyendo con la visualización de los procesos en el HMI. Posteriormente se detalla las pruebas realizadas.

5.1.1 Calibración del sensor ultrasónico

Para la calibración del sensor ultrasónico se necesitó colocar el sensor en la parte superior del tanque de mezcla como se muestra en la figura 21 y utilizar el divisor de voltaje de la figura 22 para convertir la salida del sensor ultrasónico en voltaje, además de realizar una comparación entre valor deseado y el valor medido por el flexómetro para el ajuste correcto del sensor.

Se realizaron varias pruebas buscando la exactitud del sensor logrando obtener el 0.014 % de error en la medición. En la tabla 25 muestra los valores obtenidos de las pruebas realizadas para la calibración del sensor ultrasónico con escalamiento de 0 a 0.75 m.

En la figura 72 muestra el valor de nivel y el voltaje obtenido por el sensor una vez calibrado.

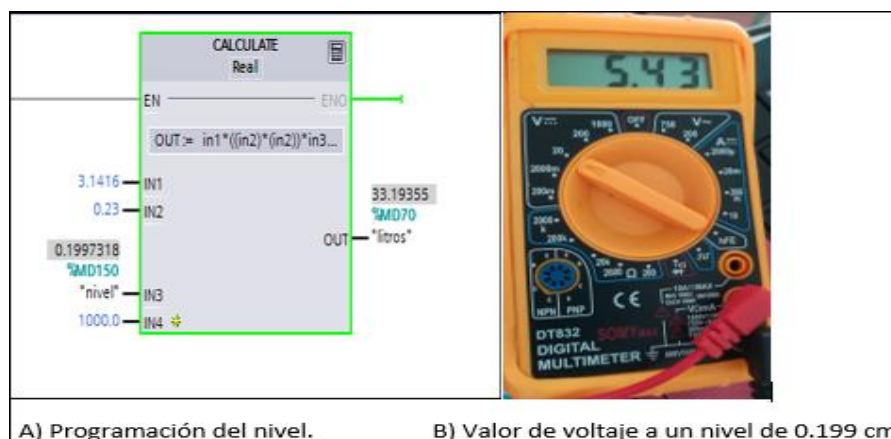


Figura 72: Valores obtenidos de la calibración del sensor ultrasónico.

| .Sensor ultrasónico | Escalamiento (0-0.75m) | | |
|--|------------------------|----------|----------|
| Pruebas | 1 | 2 | 3 |
| Valor de nivel | 0.199 cm | 0.299 cm | 0.418 cm |
| Valor medido por flexómetro | 0.202 cm | 0.302 cm | 0.421 cm |
| Valor de voltaje | 5.49 v | 4.31 v | 2.99 v |
| Valor en litros | 33.19 l | 50.08 l | 70.9 l |
| Valor de salida de la Normalización | 0.43 | 0.292 | 0.12 |
| Porcentaje de error (V.medido-Vleido)/V.medido | 0,014 % | 0,014 % | 0,014 % |

Tabla 25: Valores de las pruebas de calibración para el sensor ultrasónico.

5.1.2 Calibración del sensor infrarrojo

Para la calibración del sensor infrarrojo se utilizó un flexómetro además de ubicar el sensor en la tapa del tanque de almacenamiento del dióxido de cloro, fue necesario el uso de la fórmula de escalamiento que entrega Arduino (figura 34) para disminuir el error de medición, logrando obtener con esa fórmula un error del 0.04 % respecto al valor leído con el valor real. En la figura 73 muestra el valor del nivel y el voltaje de la calibración de la prueba 4.

Se realizo 6 pruebas, logrando obtener en la 4 prueba la calibración del sensor infrarrojo. En la tabla 26 muestra el valor leído, el valor real, el volumen del tanque y el valor de voltaje que entrega el sensor en cada lectura.



Figura 73: Valores obtenidos de la calibración del sensor infrarrojo.

| Sensor infrarrojo | Escalamiento (0 a 19 cm). | | | | | |
|--|---------------------------|-------|--------|----------|----------|--------|
| Prueba | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Valor leído | 13 cm | 13 cm | 13 cm | 0,13 cm | 0.10 cm | 0.5 cm |
| Valor medido por flexómetro | 10 cm | 15 cm | 12 cm | 0.135 cm | 0.105 cm | 0.53cm |
| Valor en litros | 3.07 l | 5.4 l | 8.7 l | 3.80 l | 3.07 l | 2.2 l |
| Valor de voltaje | 0.92 v | 2.3 v | 1.30 v | 1.20 v | 0.91 v | 0.81 v |
| Porcentaje de error (V.medido-Vleido)/V.medido | 0.3 % | 0.2 % | 0.15 % | 0.04% | 0.04 % | 0.04 % |

Tabla 26: Valores de las pruebas de calibración para el sensor infrarrojo

5.1.3 Parámetros P.I.D del control del motor trifásico y la bomba centrifuga

Para obtener los parámetros del control PID y poder estabilizar la mezcla entre el dióxido de cloro y el agua se necesita que el sistema se optimice para esto fue necesario que el control PID lo realice en forma automática. Pero al no estabilizarse

como uno desea se desarrollaron varias pruebas las cuales se basaron en pequeños cambios del parámetro Derivativo aumentando la estabilidad del sistema.

En la figura 74 muestra los valores obtenidos automáticamente por la optimización fina y en la figura 75 muestra los cambios de valores que se realizó a través de pruebas para tener una mejor estabilización del sistema.

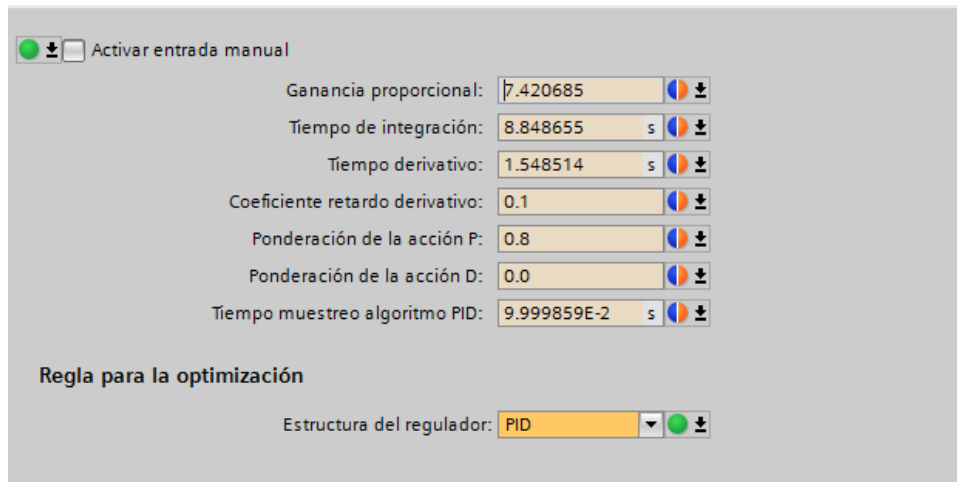


Figura 74: Valores entregados por la optimización fina.

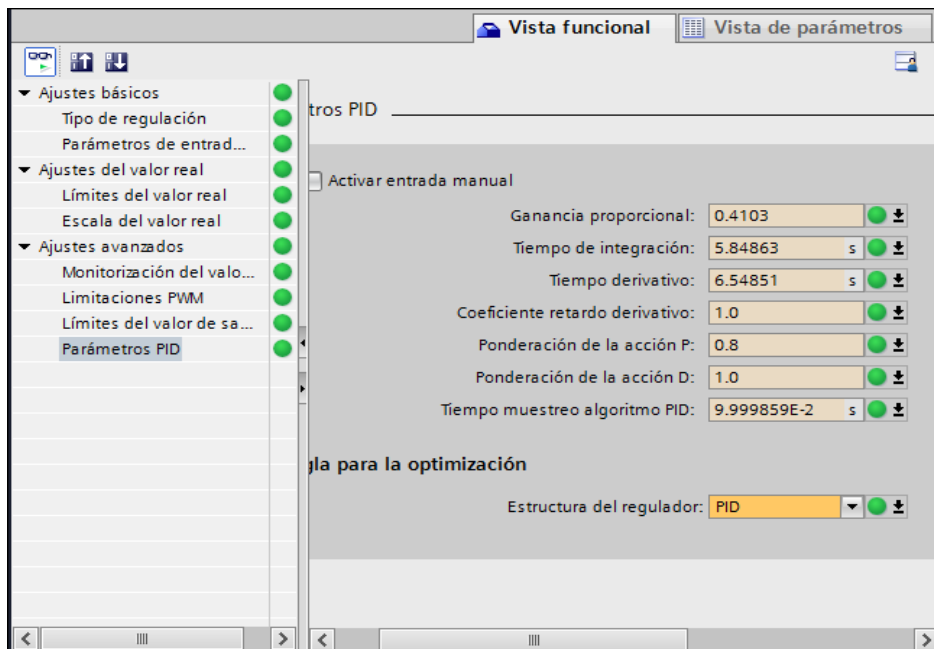


Figura 75: Ajustes realizados de los valores entregado por la optimización fina

En la figura 76 se observa la gráfica de estabilidad del control del motor trifásico con parámetros entregados automáticamente por la optimización fina y en la gráfica 77 se ilustra la gráfica de estabilidad con cambios en los parámetros PID.

En la tabla 27 y 28 se detalla la diferencia de los tiempos de estabilidad y de subida que poseen los controles PID.

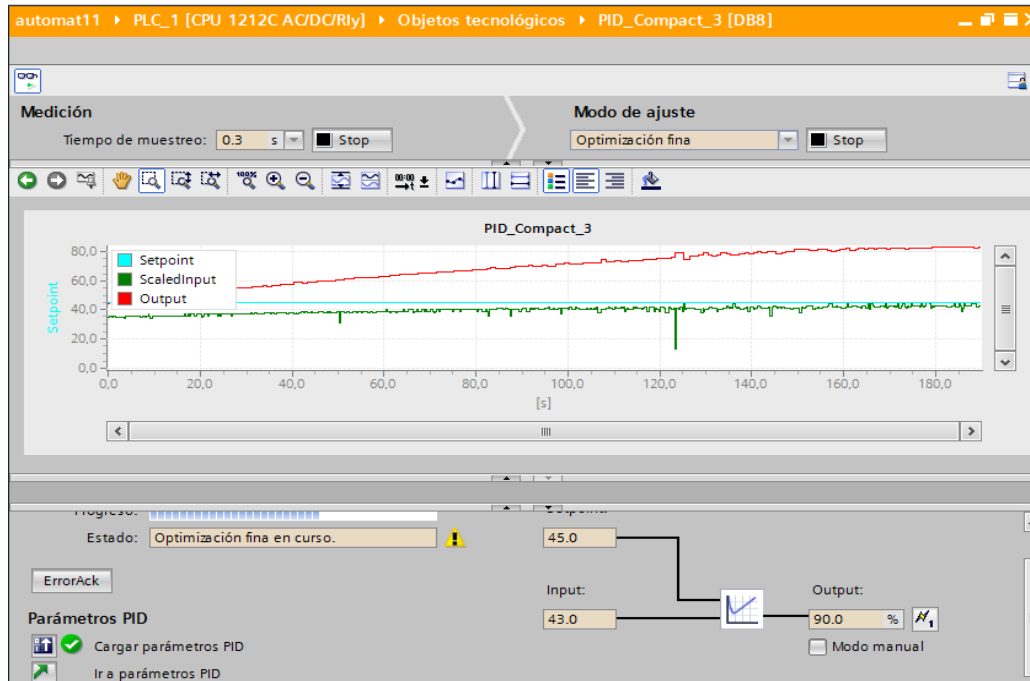


Figura 76: Control por optimización fina

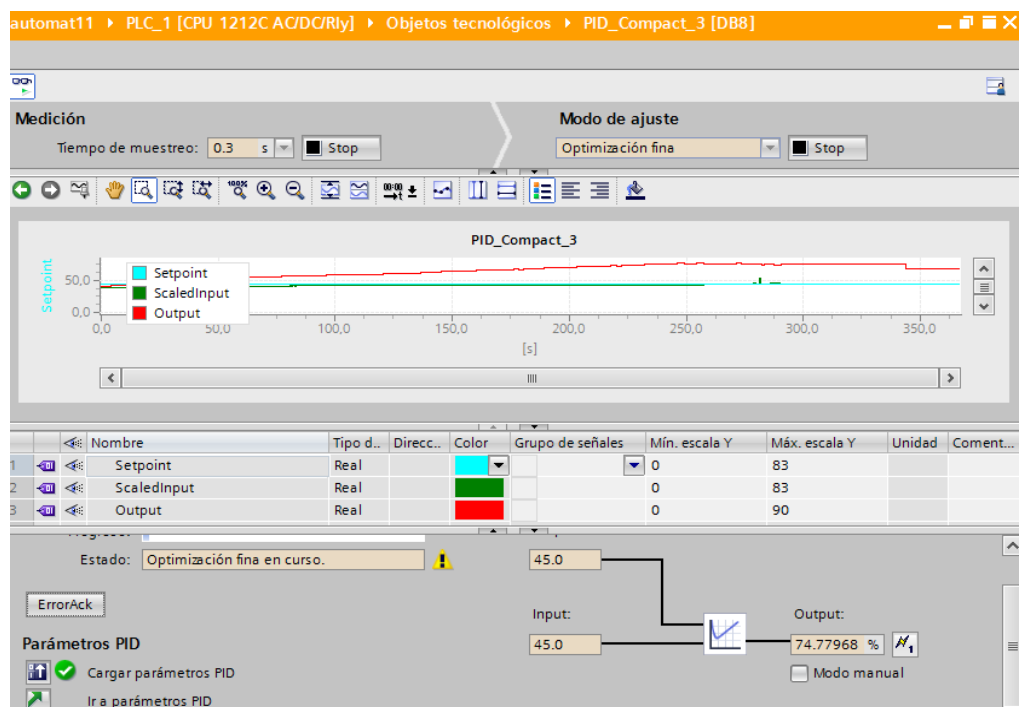


Figura 77: Modificación de la optimización fina.

| | Prueba PID (1) | Prueba PID (2) |
|-----------------------|----------------|----------------|
| Valor del Setpoint | 45 | 45 |
| Tiempo de estabilidad | 180 seg | 29,2 seg |
| Tiempo de subida | 15 seg | 5 seg |

Tabla 27: Resultados del sistema para el control del motor trifásico.

| | Prueba PID (1) | Prueba PID (2) |
|-----------------------|----------------|----------------|
| Valor del Setpoint | 10 | 10 |
| Tiempo de estabilidad | 95 seg | 92, seg |
| Tiempo de subida | 80 seg | 76 seg |

Tabla 28: Resultados del sistema para el control de la bomba centrífuga.

5.1.4 Diseño del sistema en la pantalla HMI

Para establecer la rutina de los distintos procesos que ejecuta el sistema fue necesario utilizar las memorias internas del PLC colocando en cada proceso una variable distinta que se ajuste a las variables que utiliza el software Dopsoft.

En la figura 78 se observa la interfaz que se realizó para las pruebas de la rutina del sistema y en la figura 68 se observa la interfaz final del sistema.

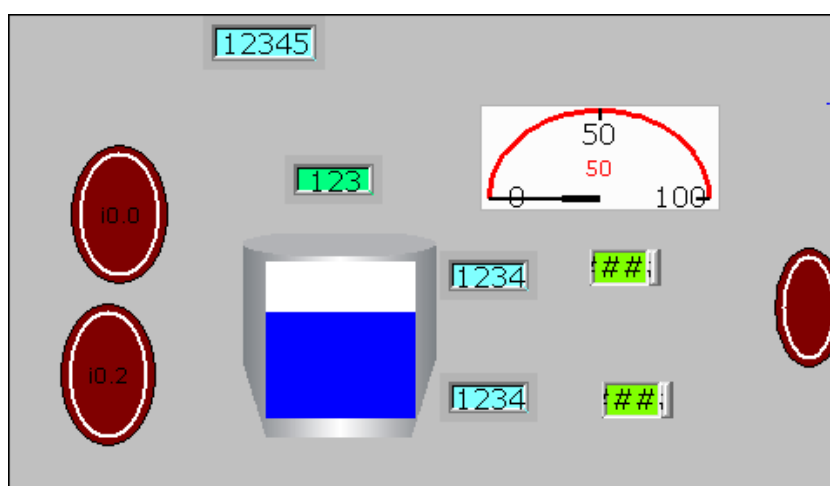


Figura 78: Interfaz de prueba para los procesos del HMI.

5.2 RESULTADOS

Luego de realizar las pruebas de los distintos equipos, simular los procesos del sistema para la preparación del desinfectante para los botellones de agua en la pantalla HMI y cumplir con su función, se logró los siguientes resultados:

Reducción del porcentaje de error en el Sensor ultrasónico

Con las diferentes pruebas realizadas de la calibración del sensor ultrasónico se logró disminuir el error al 0.014%, con este bajo nivel de error basto para realizar el proceso del control de la apertura y cierre de la electroválvula que llena de agua al tanque de mezcla.

Sensor infrarrojo

De las 6 pruebas realizadas para la calibración del sensor infrarrojo, se pudo apreciar lo siguiente de la tabla 26:

- En la primera prueba se observa un error del 0.3% debido a que el sensor mostraba una medida del 13 cm y el flexómetro el valor de 10 cm.
- En la segunda prueba existe un error del 0.2%.
- En la tercera prueba realizada baja el error al 0.15%, es decir el programa mostraba que había un nivel de 13 cm cuando en el flexómetro media 12 cm, el valor es aproximado a lo esperado, pero no el indicado.
- En la prueba número 4 se obtuvo el resultado esperado gracias a la fórmula de escalamiento que emplea Arduino bajando el error al 0.014, quedando como definitivo los ajustes de calibración que se realizó en la prueba 4 para el proceso de la dosificación del dióxido de cloro.

Parámetros de configuración del control PID del motor trifásico y la bomba centrífuga

Mediante el ajuste que se realizó en los valores entregado automáticamente por la optimización fina se logró estabilizar el motor trifásico el cual realiza la mezcla, aumentando el valor Derivativo de 1.548514 a 6.54851 y disminuyendo la ganancia proporcional a 0.4103 para estabilizar la frecuencia del motor.

De la misma forma se realizó para el control de la bomba aumentando el tiempo de estabilización de 95 seg a 92 seg con un tiempo de subida de 76 seg.

Análisis del sistema en las pantallas HMI

Para el monitoreo de la planta se realizó las pruebas en el interfaz como se observa en la figura 78, donde fue necesario el cambio del tipo de dato de la variable además de guardarlas en una base de datos como se observa en el anexo 2, obteniendo los datos para el desarrollo de las alarmas y el interfaz para el monitoreo de los procesos del sistema.

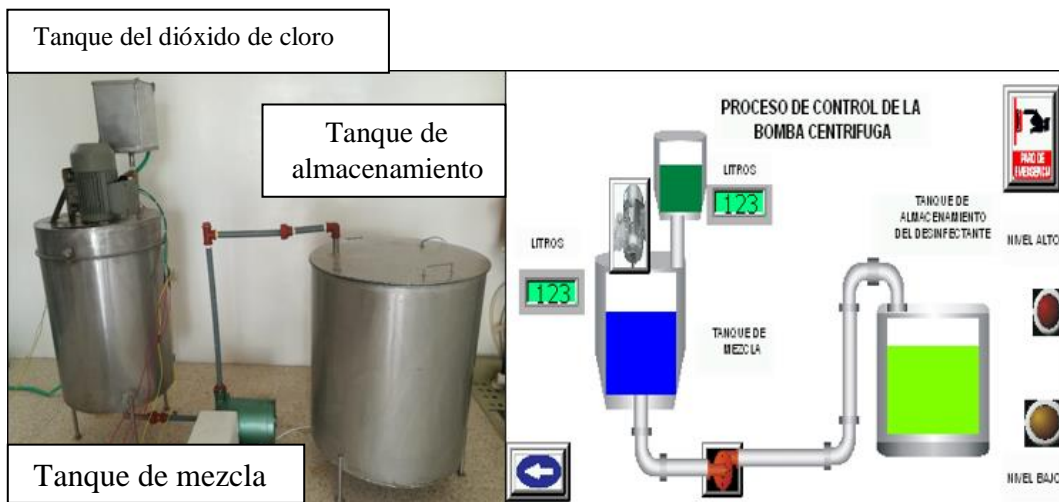


Figura 79: Identificación del sistema a través del HMI.

En la figura 79 muestra la identificación que se realizó en la pantalla HMI en comparación con la planta, donde los tanques de acero inoxidable están representados por tres figuras cilíndricas, el cambio de color del motor trifásico y la bomba centrífuga representa el encendido y apagado de los mismos, los flotadores están identificado por dos indicadores de nivel bajo y alto además de representar la lectura de los sensores con dos displays numéricos.

CONCLUSIONES

Mediante la implementación de los equipos y la ubicación de los nuevos componentes en el tablero de control se logró identificar los cuatros procesos que emplea la planta para la elaboración del desinfectante a través de la simulación del sistema en la pantalla HMI.

Los valores entregados automáticamente por optimización fina no fueron los resultados que se esperaba para el control del motor trifásico y el control de la bomba, por lo que se concluye que fue necesario cambiar manualmente los parámetros proporcional y derivativo permitiendo estabilizar el motor en un tiempo de 29.2 segundos a un nivel de 45 cm, además de eliminar el rebose de mezcla que había con los parámetros por optimización fina.

Sin la calibración de los sensores el error de medición es muy alto llegando hasta el 1.1%, por lo que afecta en el control de nivel del tanque de mezcla y en el monitoreo del mismo, por tal motivo se necesita que el sensor ultrasónico como el sensor infrarrojo sean calibrados para disminuir el error de medición.

Mediante la identificación de los procesos y el monitoreo de los mismos en la pantalla HMI se logró controlar y disminuir el rebose de mezcla y el tiempo que emplea para el traslado de la mezcla al tanque de almacenamiento.

La simulación del sistema de la preparación del desinfectante en la pantalla HMI, permitió establecer las alarmas de cada proceso de la planta, con el fin de prevenir cualquier percance que se presente durante el desarrollo del desinfectante.

Mediante las pruebas experimentales de los sensores se logro obtener un error máximo del 0.04%, lo que es suficiente para que el sistema de mezcla sea el adecuado.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que la cantidad para realizar la dosificación del desinfectante es para cada 70 litros de agua es necesario el uso de 3 litros de dióxido de cloro con solubilidad de 1.18 g/l como se observa en el anexo 3 permitiendo que la mezcla no sea espesa.

Separar las conexiones de alimentación con las de comunicación para evitar las interferencias de ruido en los sensores que controlan el nivel del tanque de almacenamiento del dióxido de cloro y del tanque donde se realiza la mezcla.

El almacenamiento del desinfectante tiene que estar en un cuarto con condiciones de temperaturas mínima de 25 grados Celsius, con presión máxima de hasta 13.7 mm hg para evitar la inestabilidad del desinfectante.

No llenar más de 19 cm el tanque donde se deposita el dióxido de cloro, es decir 5.50 litros, debido a que el sensor infrarrojo tiene una zona ciega de 0 a 3 cm en ese rango de distancia el sensor infrarrojo da valores erróneos.

El encargado de la planta debe estar capacitado para el manejo de motores, bombas centrifugas, variadores, HMI y la calibración de sensores para cubrir cualquier percance que se presente durante la ejecución del sistema.

Emplear el uso de fórmulas para la calibración de los sensores, con el objetivo de disminuir el error de medición.

BIBLIOGRAFÍAS

- A., B., & Patrick, F. (2012). ISA 101 and HMI Workshop. *Wood Group Mustang*, 55-58.
- Arturo, M. M. (2017). *Fundamentos de Medicion y control de Procesos*. ISMA.
- Calderon, T. e., & Mabel, V. A. (2016). Diseño e implementacion de un sistema automatizado de dosificacion de dióxido de cloro para lavado y desinfectado de caracasas de pollo . En T. e. Calderon, & V. A. Mabel, *Diseño e implementacion de un sistema automatizado de dosificacion de dióxido de cloro para lavado y desinfectado de caracasas de pollo* (pág. 10). guayaquil: FIMCP.
- Castillo, J. C., & Garcia Garcia, M. (2012). *Automatismos Industriales*. Madrid: Editex, S. A.
- Deiningner, R., Ancheta, A., & Ziegler, A. (2006). *Dioxido de Cloro*. Michigan: The University of Michigan.
- Gil, C. (2017). *COMUNICACIONES INDUSTRIALES: PRINCIPIOS BASICOS*. Madrid: UNED.
- Jose Manuel, G. M. (2006). Diseño de un sistema automatizado para la produccion del desinfectantes de una planta de detergentes . En G. M. Jose Manuel, *Diseño de un sistema automatizado para la produccion del desinfectantes de una planta de detergentes* (pág. iii). Bogota.
- Knapp D., E., & Langill, J. T. (2014). *INDUSTRIAL NETWORK SECURITY*. USA: Elsevier Inc.
- kresisch, T. V. (2016). *Mezclas y grumos. Problemas y soluciones*. Madrid: Paraninfo, S.A.
- Liu, W. (2013). *Emulation of Narrowband Powerline Data Transmission Channels and Evaluation of PLC System*. China: Kanlsruher Institut fur technologie.
- Loor, G. (6 de septiembre de 2015). Agua embotellada empresa emprendedora. *Lideres* , 5.
- Merino, M. J., & Llno, E. A. (2017). *ELEMENTOS BASICOS DEL CONTROL DE PROCESOS*. AREA DE INNOVACION Y DESARROLLO, S.L.
- Pardo Alonso, J. L. (2013). *Montale y puesta en marcha de sistemas roboticos y sistemas de vision, en bienes de equipo y maquinas industriales*. INNOVACION Y CUALIFICACION, S. L.
- Perero, Z. M. (2017). Analisis y diseño de un sistema de control utilizando PLC para el fluido y nivel del llenado de tanques. En Z. M. Perero, *Analisis y diseño de un sistema de control utilizando PLC para el fluido y nivel del llenado de tanques* (pág. V). Santa Elena.
- Piga, R., & Metter, M. (2018). *Automating with PROFINET*. Germany: Siemens.
- Salazar, J. A., & Mejia Arango, J. G. (2017). *TIA PORTAL. Aplicaciones de PLC*. Medellin: Instituto Tecnologico Metropolitano.

ANEXOS

ANEXO 1: Variables utilizadas en la programación del sistema.

| Nombre | Tabla de variables e.. | Tipo de datos | Dirección | Rema... | Visibl... | Acces... |
|--------------------|------------------------|---------------|-----------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| litros | Tabla de variables e.. | Real | %MD70 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| aux_valvula1 | Tabla de variables e.. | Bool | %M74.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| AUX_P2 | Tabla de variables e.. | Bool | %M78.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| T-mezcla | Tabla de variables e.. | Time | %MD80 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| litros(1) | Tabla de variables e.. | Int | %MW20 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| aux_mezclador | Tabla de variables e.. | Bool | %M120.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| M_niv_bajo | Tabla de variables e.. | Bool | %M19.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| nivel(1) | Tabla de variables e.. | Int | %MW22 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| AUX_DATALOGWRITE | Tabla de variables e.. | Bool | %M24.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| valvul | Tabla de variables e.. | Word | %MW77 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| frecuencia | Tabla de variables e.. | DWord | %MD34 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| NORM_X_MEZCLA | Tabla de variables e.. | DWord | %MD11 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| AUX_ON_BOMBA | Tabla de variables e.. | Bool | %M121.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| NORM_X_BOMBA | Tabla de variables e.. | Real | %MD12 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| AUX_PROCESO1 | Tabla de variables e.. | Bool | %M115.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| AUX_NORM_2 | Tabla de variables e.. | Real | %MD101 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Sensor2_SCALE | Tabla de variables e.. | Real | %MD103 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| VALVULA_2 | Tabla de variables e.. | Bool | %Q0.1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| NIVEL_BAJO_T2 | Tabla de variables e.. | Bool | %M113.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| M_nivel_alto | Tabla de variables e.. | Bool | %M16.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| AUX_NIVEL_BAJO | Tabla de variables e.. | Bool | %M31.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| M_niv_medio | Tabla de variables e.. | Bool | %M17.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| aux_tanq_deposito | Tabla de variables e.. | Bool | %M26.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| AUX_PROCESO2 | Tabla de variables e.. | Bool | %M99.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| STOP DE EMERGENCIA | Tabla de variables e.. | Bool | %I0.5 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| AUX_PROCESO_4 | Tabla de variables e.. | Bool | %M125.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

ANEXO 2: Bases de datos del sensor ultrasónico y el sensor infrarrojo.

| BD_sensor1 | | | | | | |
|-------------------|--------------------|--------|--------------------|--------------------------|-------------------------------------|--|
| Nombre | Tipo de datos | Offset | Valor de arranq... | Remanen... | Accesible d... | |
| Static | | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| valv | Array[0..1] of Int | 0.0 | | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| bomba | Array[0..2] of Int | 4.0 | | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| bomba[0] | Int | 0.0 | 0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| bomba[1] | Int | 2.0 | 0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| bomba[2] | Int | 4.0 | 0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| litros deseado | Array[0..1] of Int | 10.0 | | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| litros deseado[0] | Int | 0.0 | 0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| litros deseado[1] | Int | 2.0 | 70 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| convertir | Array[0..1] of Int | 14.0 | | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| convertir[0] | Int | 0.0 | 0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| convertir[1] | Int | 2.0 | 0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| SetPoint | Int | 18.0 | 0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| setpoint_bomba | Int | 20.0 | 1 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| Static_1 | Array[0..2] of Int | 22.0 | | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| Static_1[0] | Int | 0.0 | 0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| Static_1[1] | Int | 2.0 | 0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| Static_1[2] | Int | 4.0 | 2 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |

| BD_SENSOR_2 | | | | | | |
|-------------------|---------------|--------|--------------------|--------------------------|-------------------------------------|--|
| Nombre | Tipo de datos | Offset | Valor de arranq... | Remanen... | Accesible d... | |
| Static | | | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | |
| DISTANCIA_T2 | Int | 0.0 | 0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| NIVEL_CM | Real | 2.0 | 0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| LITROS_T2 | Real | 6.0 | 0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| LITROS_REQUERIDOS | Real | 10.0 | 0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| LITROS_RESTANTES | Real | 14.0 | 0.0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |
| Dioxido | Int | 18.0 | 0 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | |

ANEXO 3: Valores escogidos para la dosificación del desinfectante.

| Litros de Dióxido de cloro | temperatura (°C) | presión (mm Hg) | solubilidad (g/L) |
|-----------------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------|
| 12 | 60 | 26.2 | 3.01 |
| 11 | 60 | 34.5 | 1.82 |
| 10 | 60 | 22.1 | 1.13 |
| 9 | 45 | 13.4 | 0.69 |
| 8 | 40 | 8.4 | 2.63 |
| 7 | 30 | 56.2 | 1.60 |
| 6 | 30 | 18.8 | 0.83 |
| 5 | 30 | 9.9 | 0.47 |
| 4 | 30 | 10.9 | 2.65 |
| 3 | 25 | 13.7 | 1.18 |
| 2 | 25 | 21.3 | 0.58 |
| 1 | 25 | 12.0 | 0.26 |